

## TiN 및 TiCN 코팅 특성이 공구수명에 미치는 영향에 대한 연구

백영남\*, 정우창\*\*

\*경희대학교 기계공학과 \*\*두원공조 (주)

## The effect of TiN and TiCN coating parameters on the tool life extension

Y. N. Paik\*, W. C. Jung\*\*

\*Dept. of Mechanical Engineering and  
 Institut of Materials Sciences and Technology, KyungHee University.  
 \*\*DooWon Climate Condition Co.

### Abstract

TiN and TiCN films were deposited on the high speed steel by Cathode Arc Ion Plating (CAIP) process to investigate the tool life extension effect. The experiment variables were bias voltage and deposit time for the TiN coating and reactive gas flow rate ( $\text{CH}_4 : \text{N}_2$ ) under fixing deposit pressure, arc current, bias voltage for the TiCN coating respectively. The micro structure and mechanical properties were investigated and compared for among the coating conditions using various methods and machining practice.

### 1. 서 론

최근 고속절삭가공 등을 통하여 생산성을 향상시키려는 노력이 활발히 진행되고 있으며, 각종 절삭공구들은 기존의 가공조건보다 훨씬 기혹한 마모조건 하에서 사용되기 때문에 무엇보다도 우수한 내마모성을 필요로 하게 된다. 이에 따라 절삭공구강에 대한 보호피막으로 천이 금속의 화합

물, 특히 탄화물과 질화물이 많이 이용되고 있으며 일반적으로 경도가 크고, 화학적으로 안정하며, 전기전도도가 좋은 NaCl 구조를 갖는 질화물들 (TiN, TiCN)을 사용하여 내마모특성 등, 기계적 특성이 우수한 박막을 공구강에 코팅하여 고속절삭을 가능케 하고, 공구수명을 연장시키는 연구가 수행되고 있다.<sup>1-3)</sup> TiCN는 높은 경도와 용접으로 마모 저항성이 우수하며, TiN은 화학적으로 안정

하여 부식 및 침식에 강하고, 낮은 마찰계수로 인하여 응착 마모저항성이 뛰어난 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 TiN과 TiCN을 공구강상에 CAIP (Cathode Arc Ion Plating) 방법으로 코팅하고, TiN 및 TiCN의 코팅특성이 절삭공구의 수명 연장에 미치는 영향을 확인하기 위하여 코팅조건 변수를 정하고 각 코팅조건 변수로 코팅된 공구강을 이용하여 절삭가공실험을 실시함으로써 TiN 및 TiCN 코팅특성이 공구수명에 미치는 영향을 실험적으로 검토하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 코팅장치 및 방법

본 실험에서 사용한 이온플레이팅 장치에는 진공장치, 진공챔버, 증발원 및 이온화율 증대장치, 전원 공급장치, 가스 공급장치 등으로 구성되어 있다.

진공장치는  $10^{-2}$  torr 까지 배기할 수 있는 유회전펌프 (rotary pump)와  $10^{-6}$  torr의 진공도까지 배기할 수 있는 유확산펌프 (diffusion pump)로 구성되어 있으며, 진공챔버는 지름 500mm, 높이가 600mm, 원통형이다. 증발원으로는 저전압 (15~30V D.C), 고전류 (15~150A) 방전으로 높은 이온화율 (10~100%)과 높은 운동에너지 (15~150eV)를 형성할 수 있으며, 고융점 재료 (Ti, Zr, Hf)를 증착할 수 있는 아크 증발을 선택하였다. 냉각효과를 높이기 위해 타겟의 저면을 냉각수로서 냉각하였으며, 전원장치로는 기판에 bias power supply를 갖추고 있다.

본 연구에서는 공구강으로 많이 사용되는 SKH9 고속도강 위에 음극 아크 이온 플레이팅법에 의해 TiN과 TiCN을 증착시켰다. 코팅을 행하기 전에 bias voltage를 -700V에서 1분 동안 Ar sputter ring을 한 후 -400V에서 10분간 Ti interlayer를

합성시키기 위한 harge coating을 하였다. 증착 변수로서는 박막내의 TiN의 경우 bias 전압 및 deposition을 변화시켜 증착층의 두께변화를 유도하였고, TiCN 박막의 증착시 C/N의 원자비율을 제어하기 위해 일정한 작업 진공도 하에서 MFC (Mass Flow Controller)를 사용하여  $CH_4$  가스와  $N_2$  가스의 인입비율을 1:1에서 1:3 까지 변화시키며 증착시켜 TiCN 박막의 C/N의 원자분율에 따른 박막의 특성변화를 고찰하고자 하였다. TiN 및 TiCN 박막의 증착 조건을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 TiN and TiCN deposition conditions by CAIP

Deposition Parameters	Values	
	TiCN	TiN
Base pressure	$6 \times 10^{-5}$ torr	$5 \times 10^{-5}$ torr
Deposition pressure	$8 \times 10^{-3}$ torr	0.4~ $4 \times 10^{-3}$ torr
Arc current	70A	70A
Bias voltage	-300V	-300V
distance between substrate and target	180mm	180mm
Jig rpm	30rpm	30rpm
Deposition temperature	400~500°C	400~500°C
Deposition time	30, 60, 90 min	10, 20, 50 min
Gas flow rate	$CH_4 : N_2$ gas flow rate (1:1, 1:2, 1:3)	-

### 2.2 박막분석

공구강상에 증착 조건별로 증착된 TiN 및 TiCN의 코팅의 증착층의 두께 및 결정특성 확인을 위하여 XRD분석, SEM분석 등을 실시하였으며, TiCN 합성시  $CH_4$ 가스와  $N_2$  가스의 인입비율에 따른 TiCN 박막내의 C/N의 원자분율을 주사하기 위해 AES (Auger Electron Spectroscopy) 분석을 행하였다. 또한 각 증착 조건에 따른 코팅층의 기

계적 특성은 실제 공구수명 연장을 예상할 수 있는 박막의 내마모 특성과 경도 및 밀착력 시험을 실시하였다.

### 2.3 절삭가공실험

TiN과 TiCN 코팅된 절삭공구의 절삭수명 평가를 위하여 구조용 강으로 많이 사용되고 있는 지름 60mm의 환봉, SM45C를 선택하여 원통형상으로 가공하여 실험하였다.

공구가 마모될 때 절삭저항은 급격히 증가하고 가공물의 표면 조도가 갑자기 나빠진다. 공구가 마모될 때 절삭저항을 구함으로서 공구의 마모 정도를 확인 할 수 있다.

따라서 절삭 실험시 공구마모에 따른 절삭저항을 주분력, 이송분력 방향에 strain gauge를 부착하여 측정하였다. 각 분력방향에 부착된 스트레인 게이지는 KYOWA사 제품(저항 200Ω 게이지 길이 5mm, 게이지 factor 1.0094)을 사용하였다. 절삭실험을 위한 각 코팅공구의 절삭실험 조건은

Table 2 Cutting conditions

bite condition	Not coated bite	TiN*		TiCN**	
		coated (2.32μm)	coated (1.21μm)	coated (2.02μm)	coated (1.50μm)
feed rate [mm/rev]	0.3016	0.3045	0.3065	0.3071	0.3059
cutting speed [m/min]	112.24	110.71	112.95	112.32	111.96
average spindle speed [rpm]	649.6	640.8	653.7	651.2	53.4
average feed time [sec]	61.25	61.5	59.9	60.7	61.4
cutting depth [mm]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

\* coated by different bias voltage and coating time

\*\*coated by different gas flow rate (CH<sub>4</sub>:N<sub>2</sub>)

Table 2와 같다.

절삭가공실험시 피삭재의 피막을 제거후, 공작물의 센터를 유지하고 진동을 방지하기 위해 심압대로 지지하였으며, 매회의 절삭작업중의 spindle speed와 이송시간의 평균을 취하여 절삭조건을 구하였다. 절삭회수는 피삭재의 cutting length를 완전히 가공함을 1회로 정의하였다. 마모량 측정은 공구현미경을 이용하여 flank 마멸대 폭을 5회 측정하여 그 평균값을 취하였고, 입체현미경으로 flank 마멸대와 crater 마멸대를 촬영하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 박막분석

SKH9 공구강상에 증착된 TiN 및 TiCN 박막은 전형적인 주상구조이며 증착 조건별로 확인된 박막의 두께는 TiN 박막의 경우 bias 전압과 deposition time이 길어질수록 박막 두께는 두껍게 나타나 1.21에서 2.31μm으로 확인되었으며, TiCN 박막의 경우 1.50에서 2.02μm정도의 두께로 확인되었다.

TiN과 TiCN 박막의 구조와 TiCN 합성여부를 확인하기 위하여 일본 Mac Science사의 XRD(X-ray Diffractometer)를 사용하여, 피크의 강도, 2θ, d 값을 분석하였다. TiN, TiCN박막에 대한 XRD분석 결과 모든 시험편에서 강한 {111} peak가 나타났다.

본 연구에서 합성된 TiN, TiCN 박막은 우선성장방위 {111}을 지니며 C/N의 원자비율이 증가함에 따라 {111} peak의 강도가 감소하는 경향을 나타내는데, 이는 박막내의 탄소의 함량이 증가함에 따라 결정성이 감소하기 때문이며 이는 adatom의 이동도가 감소하기 때문인 것으로 밝혀져 있다.<sup>4)</sup> N<sub>2</sub>가스에 대한 CH<sub>4</sub> 가스의 인입비율 또한 박막내의 C/N의 원자비율이 증가함에 따라 {111}

peak의 d값이 증가함을 관찰할 수 있다. 따라서 박막내의 C/N의 원자분율이 증가함에 따라 격자 상수가 커지는 것을 알 수 있는데 이는 TiN에서 N원자 자리를 치환하는 C원자의 원자반경이 커서 C원자의 양이 많아짐에 따라 점점 격자 상수가 커지고 TiN이 TiC로 바뀌어 감을 알 수 있다.<sup>5)</sup> Table 3은 XRD분석 결과이다.

TiCN박막의 C/N원자분율 분석을 위한 Auger 전자의 반응 단면적(cross-section)을 계산하는 것이 매우 곤란하므로 이론적인 값을 사용하는데

Table 3. XRD analysis of TiN, TiCN films on the SKH9

구분	2θ	d	intensity	I/I <sub>0</sub>
TiN {111}	36.16	24.820	68199	1000
TiCN (1:3) {111}	36.06	24.886	5086	1000
TiCN (1:2) {111}	36.04	24.897	4629	1000
TiCN (1:1) {111}	36.02	24.913	4018	1000

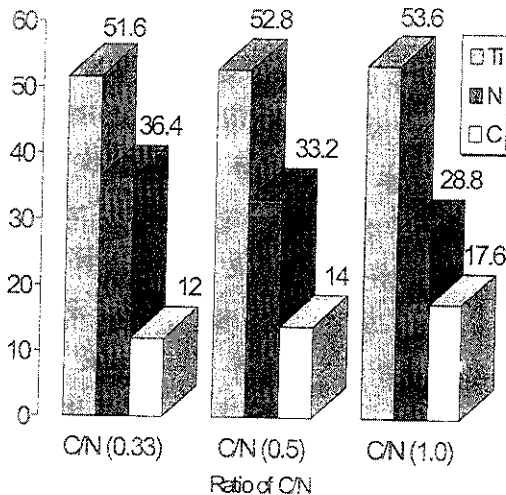


Fig. 1 AES Survey of TiCN

는 어려움이 많다.

따라서 많은 경우 원소에 따른 Auger peak의 상대적인 예민계수(relative sensitivity coefficient)를 실험적으로 측정한 다음 피크의 진폭 비로 농도 비를 환산하였다.<sup>6)</sup> TiCN 코팅 시 CH<sub>4</sub> 가스와 N<sub>2</sub> 가스의 인입비율에 따른 TiCN박막의 깊이에 따른 화학조성을 나타낸 것이다. CH<sub>4</sub>가스와 N<sub>2</sub>가스의 인입비율을 1:1에서 1:3까지 변화시킴에 따라 박막의 C/N의 원자분율의 변화치를 계산한 결과는 Fig. 1과 같다.

AES 분석 결과에서 C/N분율이 증가함에 따라 adatom의 이동도는 감소되는데 이는 N<sub>2</sub> 가스의 해리에너지와 CH<sub>4</sub> 가스의 해리에너지 차이 때문인 것을 보고되었다. N<sub>2</sub>가스를 N과 N으로 해리하는데에는 225.94kcal/mol의 에너지가 소요되는 반면 CH<sub>4</sub> 가스를 C와 H로 해리하는데는 323.44kcal/mol (C-H의 해리에너지, 80.86kcal/mol×4)이 소요된다.

따라서 CH<sub>4</sub>가스의 인입비율이 증가함에 따라 CH<sub>4</sub>를 해리하는데 많은 에너지가 소모되므로, 해리된 C원자는 이동도가 감소되어 TiN 격자에서 완전한 격자점으로서의 치환형 결합이나 침입형 결합을 하지 못하기 때문에 결정성이 감소된다.

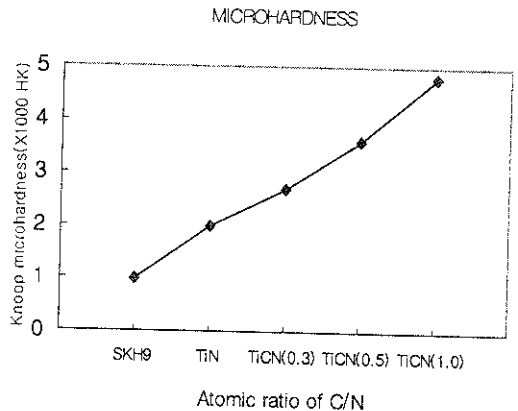


Fig. 2 Microhardness changes for atomic ratio of C/N

3. 2 기계적 특성

CAIP 방법으로 공구강상에 증착된 증착층의 미소경도를 측정하기 위하여 미소경도기 (Mitutoyo MVK-G hardness tester)를 사용하였으며 광학현미경 (Optical microscope)으로 압흔의 대각선 길이를 측정하여 경도 값을 환산하였다. 압입하중을 각각 50gf, 100gf로 적용하였으며 압흔에 의한 주위의 영향을 피하기 위하여 각 압흔의 대각선 길이의 3배 이상 떨어진 곳에서 압흔을 내었다. 이때 압흔의 가장자리가 가장 잘 보이는 초점에서 10회 측정하여 그 평균값을 취하였다. Fig. 2는 SKH9 공구강 및 TiN, TiCN 박막에 대한 미소강도 측정결과를 나타낸 것으로 모재인 SKH9의 경도값이 약 980HK인데 반해 TiN은 1980HK이고 C/N의 원자분율이 증가함에 따라 경도값이 점점 증가하여 TiCN (1.0)의 경도값이 4800HK에 이른다. 이러한 결과는 박막내의 C의 함량이 증가함에 따라 고경도의 TiC에 근접하기 때문이라 생각된다.

박막의 밀착력 시험은 Rockwell hardness test

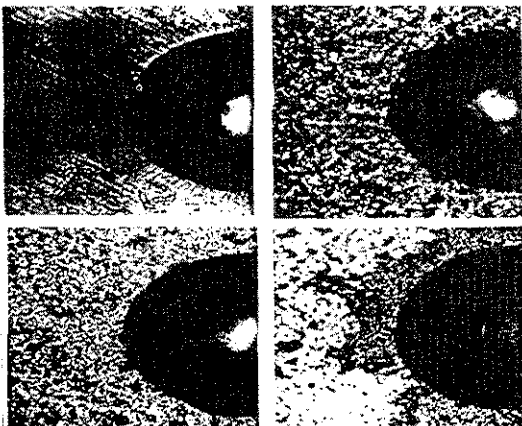


Photo 1. Optical micrographs of the Rockwell indentations on TiN, TiCN films at 150kgf load

- (a) TiN
- (b) TiCN (CH<sub>4</sub>:N<sub>2</sub>=1:1)
- (c) TiCN (CH<sub>4</sub>:N<sub>2</sub>=1:2)
- (d) TiCN (CH<sub>4</sub>:N<sub>2</sub>=1:3)

er를 이용하여 HRC scale로 압입한 후 압흔을 광학현미경으로 관찰하여 압흔 주위에 균열이나 변형여부를 관찰하여 확인하였다.

Photo 1은 각 조건의 시편을 Rockwell hardness tester로 압입 시험한 압흔을 광학현미경으로 관찰한 결과이다.

Photo 1에서 보는 바와 같이 본 실험에서 코팅된 TiN, TiCN (0.33), TiCN (0.5), TiCN (1.0) 모두 압흔 주위에 균열이나 변형이 관찰되지 않았다. 따라서 모재와의 밀착력이 우수한 것으로 판단된다.

FRICITION COEFFICIENT OF TiN and TiCN

\*Counter Part : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> \*Velocity:0.3 m/s  
 \*Applied Load : 0.4 Kgf \*Sliding Distance : 2Km

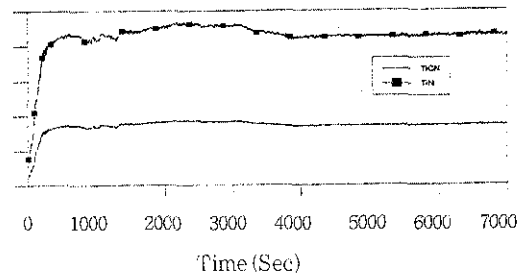


Fig. 3 Coefficient of friction changes of TiN and TiCN (C/N=1.0)

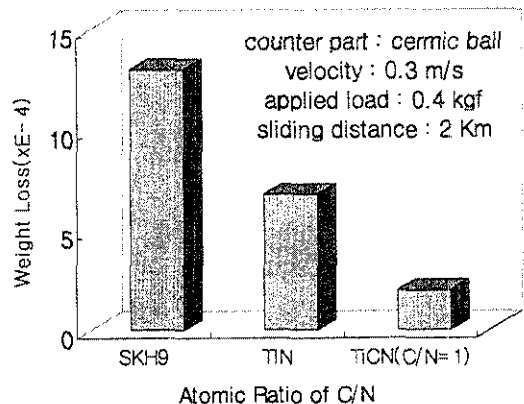


Fig. 4 Weight loss of SKH9, TiN, TiCN (C/N=1)

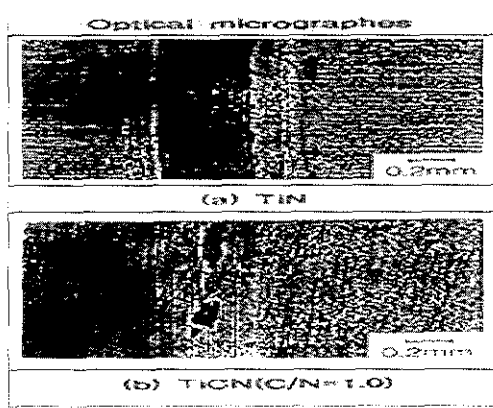


Photo. 2 Optical micrographs of wear scar and roughness profiles of TiN and TiCN (C/N =1.0) (counterpart : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ball, sliding velocity:0.3m/sec, applied load : 0.4kgf, sliding distance : 2km)

내마모시험 평가를 위하여 Boll-on-disk의 마모 시험기를 사용하였으며, 상온, 무윤활조건, 대기압 하에서 수행하였으며, ball은  $\phi 11\text{mm}$ 의 세라믹을 사용하여 실험하였다. 마모 실험 후 마모 track의 마모량을 비교하고 또한 조도기를 사용하여 마모 track의 조도 측정을 하였다.

위와 같은 실험방법으로 측정된 TiCN (1.0)의 마찰계수는 0.4이하로 TiN에 비해 매우 낮게 나타났다.

Fig. 3에 TiN과 TiCN (1.0)의 마모시험에서 나타난 마찰계수 값의 변화를 나타내었다. 마찰계수로 관찰한 내마모 특성은 Photo 2에서 보는 바와 같이 마모트랙의 광학현미경 사진과 형상 그리고 Fig. 4의 마모량 상대비교에서 알 수 있다. TiN은 TiCN (1.0)에 비해 심한 마모를 나타내고 있으며 그 마모량도 TiCN (1.0)에 비해 월등히 많음을 알 수 있다. 이렇듯 마모트랙의 광학현미경 사진과 형상, 마모량을 비추어 볼 때 TiCN (1.0)이 TiN에 비해 내마모 특성이 월등히 우수하다고 생각되어진다.

### 3. 3 절삭가공실험

각각의 코팅된 공구강을 이용한 절삭실험에서 공구수명은 공구인선이 완전히 파괴되거나 flank 마멸대폭이 0.3mm에 도달할 때까지의 절삭속도에 대한 절삭시간을 공구수명 판정기준으로 정하였다. Fig. 5에 각 바이트의 매회 절삭작업중의 절삭저항을 나타내었다. 절삭저항은 비코팅의 경우 코팅바이트 보다 불규칙한 형상으로 높게 나타났다. 그리고 상면경사각 (back rake angle)을 갖는 초경바이트는 절삭속도가 증가할 따라 절삭저항이 감소함을 알 수 있었다. 절삭저항 측정결과 TiCN 코팅가공이 TiN 코팅된 공구보다 현저히 감소하였으나 같은 계열의 코팅에서 코팅 두께에 따른 절삭저항은 실험을 수행한 두께범위에서는 코팅층의 두께가 두꺼울수록 절삭저항은 감소하였다.

Fig. 6에 절삭조건에 따른 flank 마멸대 폭의 변화에서 flank 마멸이 0.3mm 이상 진행되기 전에 비코팅 바이트는 완전히 파괴된데 비해 코팅된 바이트는 0.3mm이상 flank 마모가 진행되어도 완전히 파괴되지 않고 계속 마모가 진행되었는데, 이는 높은 바이어스 전압을 인가하여 증착한 내마모성 박막인 TiN 입자가 확산에 의해 바이트 내부

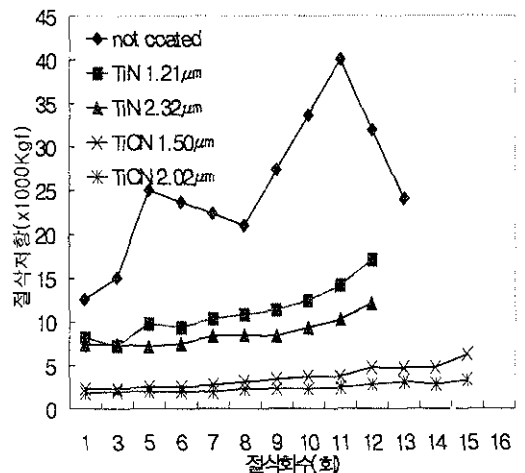


Fig. 5 The cutting resistance of tool

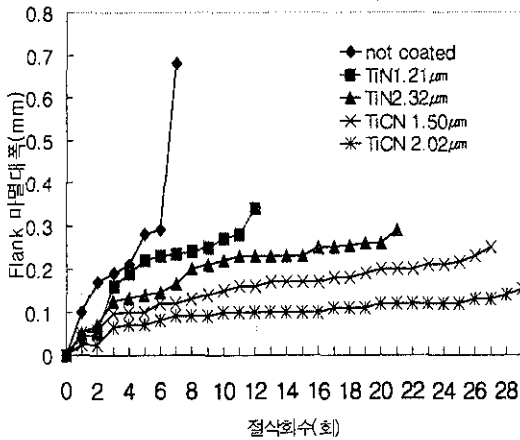


Fig. 6 The width of flank wear as a function of tool condition

에 interlayer를 형성하고 있기 때문에 분석되며, 절삭저항 측정 결과와 같이 동일계열의 코팅에서 코팅두께가 두꺼워질수록 마멸대 폭은 현저히 감소하는 결과를 얻었다.

Fig. 5 및 Fig. 6의 각 공구강 상에 코팅된 조건별 TiN 및 TiCN 공구의 절삭실험 결과, 절삭저항 및 마모량의 평가에서 코팅 바이트는 예상대로 비코팅 바이트에 비해 절삭저항 및 마모특성이 우수하였으며, TiN 코팅 바이트의 마모수명은 비코팅 바이트 수명보다 코팅 두께에 따라 2배에서 2.5배정도 수명이 향상됨을 확인하였고, TiCN 코팅 바이트는 비코팅 바이트에 비해 약 3.5배 이상 공구수명이 향상됨이 확인되었다.

특히 TiCN 코팅된 공구의 경우 C/N원자비가 높은 코팅조건에서 증착된 공구의 수명이 높게 나타나 코팅층에 형성된 C의 영향이 내마모 특성에 미치는 영향이 큰 것으로 분석되며, TiCN 코팅 공구와 TiN 코팅공구의 절삭저항 및 마모수명에 대한 상대비교 결과TiCN 코팅된 공구수명은 TiN 코팅된 공구보다 약 1.3배 마모수명이 향상되었음을 알 수 있다.

## 4. 결 론

본 연구는 고속도강(SKH9) 위에 음극아크 이온 플레이팅법에 의해 TiN 및 TiCN을 조건별로 증착하여, 증착된 박막의 미세구조와 기계적 특성을 분석하고 절삭실험을 통하여 공구강상의 TiN 박막과 TiCN 박막의 특성을 비교, 분석하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 연구를 수행한 TiCN 박막과 TiN 박막 모두 우수한 밀착력을 가지며, 기계적특성시험 결과에 대한 상대적 비교에서 TiCN 박막이 TiN 박막 코팅보다 기계적 특성이 우수하다.

2) 공구강 상에 코팅된 TiCN 박막의 C/N의 원자분율이 증가함에 따라 박막내의 탄소의 양이 증가하여 기계적특성 및 마모수명이 증가한다. 따라서 코팅 가능한 조건에서  $CH_4:N_2$ 의 flow rate를 감소시켜야한다.

3) 코팅된 바이트의 수명은 코팅층 두께의 영향이 크며, TiN 코팅 바이트의 경우 TiN 입자가 확산에 의해 바이트 내부에 interlayer를 형성하고 있기 때문이며, TiCN 공구수명은 코팅층의 두께뿐 아니라 코팅층에 형성된 C의 영향이 내마모 특성에 미치는 영향이 크다.

4) TiN 및 TiCN 코팅된 바이트의 수명향상을 실험적으로 확인하였으며, TiCN 코팅된 공구수명은 TiN 코팅된 공구보다 약 1.3배 마모수명이 향상된다.

## 후 기

본 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모 과제연구비에 의하여 연구되었음

## 참고문헌

1. O. Knotek, E. Lugscheider : Suf. Coat. Tech. 1994. P25
2. E. Damond, P. Jaequot : Mat. Sci. & Eng. A140. 1991. P838
3. Jianguo Deng : J. Vac. Sci. Technol. A12 (3), 1994. P733
4. D.S. Richerby, D.J. Burnett : Thin solid Films 157, 1988. P195
5. J.M. Schneider, A. Matthews : Surface Coating Technology. 1995. P74~75
6. 대한금속학회 회보 Vol. 2 No. 4 1989.