

TiAlN을 코팅한 WC공구의 절삭성능에 관한 연구

김형자* · 최현철** · 이규용*

Cutting Performance of TiAlN coated WC Insert Tip

Hyung-Ja Kim, Hyun-Chul Choi, Kyu-Young Lee

Key Words: TiAlN, FVAS, WC cutting tool, cutting force, tool wear, tool life

Abstract

TiAlN was deposited onto ISO P20 Cutting Insert Tip substrate by FVAS at the substrate temperature of 80°C. Cutting and wear test have been performed with TiAlN coated and uncoated WC cutting tools, respectively. Uncoated WC cutting tool has been tested under similar cutting condition for comparison.

Cutting force and tool wear of coated and uncoated carbide cutting tools were investigated by cutting length. In cutting test, cutting force of the coated insert tip was larger than the uncoated insert tip by tool wear. Configuration and wear of the coated tool were more stable and resistant than the uncoated. In tool life by the tool wear, the coated cutting tool life was rather longer than the uncoated when tested at high speed ($V=250$ m/min) than low speed ($V=200$ m/min). Cutting force, tool wear and life were analysed by tool dynamometer amp(3ch) and oscilloscope.

1. 서론

높은 절삭성과 정밀성을 요구하는 현대의 절삭공구는 우수한 내마모성, 인성 및 고온 안정성과 함께 긴 시간의 수명등을 요구한다. 이와 같은 성질들은 단일 재료로서는 얻기 어려우며 그 재료 위에 높은 경도와 화학적으로 안정된 보호피막을 코팅함으로써 얻을 수 있다.¹⁾

최근 PVD나 PACVD법으로 증착한 TiN과 같은 내마모성 코팅은 절삭공구 산업에서 점차적으로 중요하게 다루어지고 있다.²⁾ Pin on V-block 마모 테스터를 이용한 내마모 실험에서 이온 플레이팅에 의해 증착한 TiN으로 코팅된 고속도강과 코팅되지 않은 공구와의 비교 실험에서 TiN

경질 박막 코팅된 고속도강의 내마모성이 10배정도 더 크게 향상되었다.³⁾ 또한, 아직 초보 단계에 있는 세라믹 코팅으로서의 세라믹재가 가지는 마찰 마모 특성의 기계요소에 대한 적용 전망은 매우 밝다.⁴⁾ 한편 Smith 등⁵⁾은 Steered Arc/Unbalanced Magnetron 증착한 TiAlN 코팅의 표면 거칠음과 같은 문제는 TiAlN에 탄소를 첨가하여 매끄러운 TiAlN으로 개선될 수 있다고 하였다. D. -Y. Wang 등⁶⁾은 TiAlN이 고속도강 절삭공구에 적용될 때의 경계면에 있어 접착과 같은 문제점을 해결하고자 TiAl, TiN과 TiAlN으로 구성된 일렬로 이어진 다층경계면을 조사한 다음 TiN과 TiAlN 중간층을 결합하여 높은 접착력을 얻을 수 있었다. 그리고 10년 넘게 알려진 PVD-TiAlN의 높게 이온화된 증착과정들은 코팅성질을 조절하게 함으로써 최대 금속절삭 성능을 나타낼 수 있다는 평가도 있었다.⁷⁾ 그러나 TiAlN 코팅은 가열되었을 때 표면에 치밀하고 높은 접착력을 가지는 보호적 Al_2O_3 막을 형성하

* 부경대학교 기계공학부

** 부경대학교 대학원

며 또한 코팅 속의 모재가 산화되는 것을 막고 절삭작업시에 온도를 저온으로 전도시키는 이점이 있지만 높은 마찰력이 요구되는 단속절삭, 고속 절삭 및 밀링 작업등에서는 절삭력이나 내마모성 등에 대하여 빈약한 성능을 보인다.²⁾

PVD법중 Evaporation이나 스퍼터링에 비하여 진공 아크 증착법에 의한 증착은 치밀한 박막구조로 인해 다이아몬드에 가까운 높은 경도와 밀도를 얻을 수 있다. 또한 기판과 박막의 접착성이 우수하고, 열적 안정성이 높고 빠르고 강한 증착을 하는 장점이 있다. 그러나 아크 증발시 거대 입자들이 박막의 표면에 증착하여 표면 거칠음을 유발하므로 매끄러운 박막을 생성해 내기 위해서는 거대 입자를 제거하여 증착시키는 여과진공 아크 증착법(FVAS)을 필요로 한다.

따라서 본 연구에서는 여과진공 아크 증착법(FVAS)으로 초경합금인 WC공구에 TiAlN을 코팅하고 이의 절삭성능을 고찰하였다.

2. 실험방법

2.1 Insert Tip 시험편과 코팅방법

본 실험에서 사용한 TiAlN 박막공정의 증착방법은 여과진공장치(FVAS)를 사용하여 초기 진공도 5×10^3 torr, 진공 분위기 온도 80° 및 공정진공도 1.5×10^4 torr에서 Table 1의 P20 Cutting Insert Tip을 TiAlN으로 코팅하였다. 이를 위하여 시편의 유기물 세정은 알칼리 용재로서 초음파 세정하였으며, DI-water로서 최종 세척하였다. 또한 시편 표면의 산화물 및 잔존하는 유기물은 Ar분위기의 진공도 5×10^4 torr에서 FVAS를 가동시키면서 기판에 $-700V$ 의 바이어스를 30초간 인가하여 직접 플라즈마로서 세정하였다. 이와함께 박막의 밀착력을 높이기 위하여 $-300V$ 의 기판 바이어스를 걸고 약 30초간 유지 코팅하였다.

박막의 TiAlN 코팅은 $-200V$ 의 DC 바이어스에 AC 25V를 중첩하여 각 10분간 증착하여 박막의 두께가 4000~5000Å이 되도록 하였다. 이때의 아크방전전류는 30A로 고정하였으며 인출되는 플라즈마 전류는 90~120mA였다.

Table 1 Compositions of P20 and SNCM420

P20	Co		TiC+TaC			WC			
	10		15			Bal			
SNCM 420	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe
	.12	.2	.5	.03	.03	1.8	.5	.2	Bal

2.2 절삭실험장치

Cutting Insert Tip으로 공작물 SNCM420을 절삭실험하고 마모측정하기 위해 본 연구에서 사용한 실험장치의 구성은 선반의 분당회전수를 일정제어를 가능하게 하는 Inverter와, 선반의 공구대 위에서 팁의 절삭력을 전압으로 측정하는 공구동력계와, 그 측정된 전압치를 크게 증폭하고 여과시키는 공구동력계 amp(3ch)와, 그 증폭된 전압의 변화상태를 기록하는 Oscilloscope로 이루어져 있으며 실험장치도는 Fig. 1과 같다.

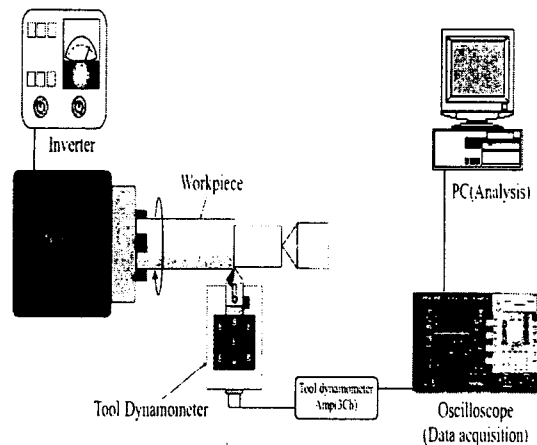


Fig. 1 Schematic drawing of the cutting performance test

2.3 절삭실험방법

WC 초경공구인 ISO P20 Cutting Insert Tip을 TiAlN으로 코팅한 팁과 코팅하지 않은 팁을 각각 선반에 고정된 공구동력계위에 설치하여 공작물 SNCM420을 단속 절삭 실험하였다.

단속절삭용 공작물 SNCM420은 직경 80mm, 가공길이 200mm이고 절삭 조건은 Table 2와 같다.

Table 2 Cutting conditions

Depth of cut(mm)	0.25
Spindle speed(m/min)	60, 100, 140, 180
Feed(mm/rev)	0.1
Cutting fluid	Dry

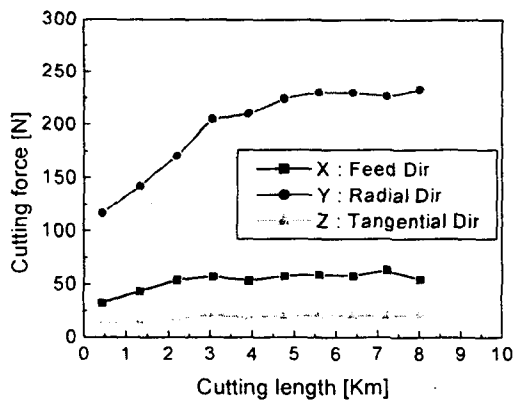
이와 같은 조건 하에 TiAlN 비코팅 인서트 팁과 TiAlN 코팅 인서트 팁에 각각 $V=200, 250$ [m/min]으로 절삭실험을 한 다음 절삭길이[Km]에 따른 절삭력[N]을 이송분력, 배분력, 주분력으로 나누어 절삭성능 특성을 조사하였다. 그리고 같은 조건하에서 비코팅 팁과 TiAlN 코팅 팁의 가공전과 공구 마멸시의 여유면 마멸(플랭크 마멸)과 경사면 마멸(크레이터 마멸)정도를 인서트 팁 인선의 0.3mm 범위내에서 측정해 공구 마멸 형상과 특성을 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

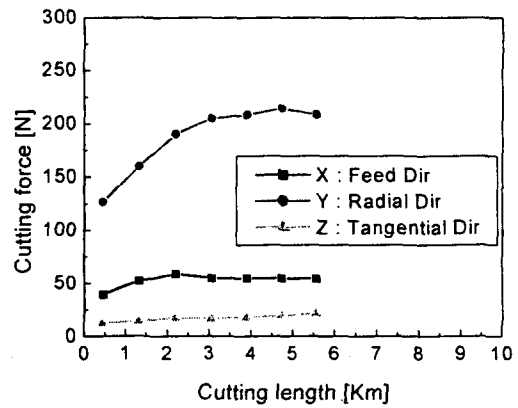
3.1 절삭력 특성

Fig. 2(a),(b)는 비코팅 팁으로, Fig. 3(a),(b)는 TiAlN 코팅 팁으로 각각 $V=200, 250$ [m/min] 속도로 공작물을 절삭했을때 팁의 절삭길이[Km]에 따른 절삭력[N]을 나타낸 절삭력 성장 곡선이다

도표에서 절삭초기에는 비코팅 팁과 TiAlN 코팅 팁의 절삭력이 큰 차이를 보이지 않으나 마멸이 진행될 수록 TiAlN 코팅 팁의 절삭력이 크게 작용했다.

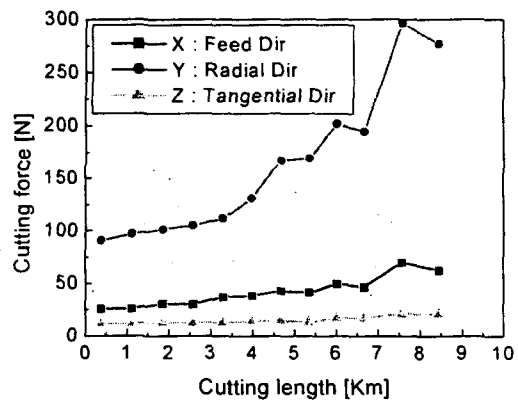


(a) Uncoated tip ; V=200[m/min]

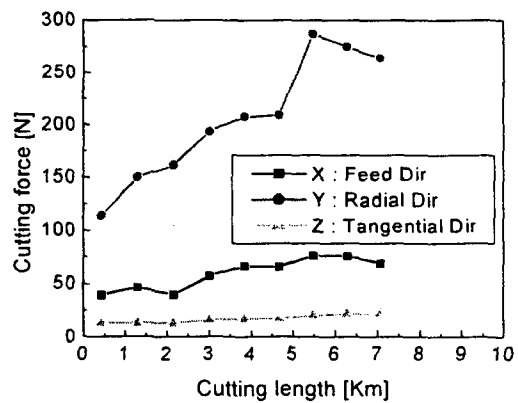


(b) Uncoated tip ; V=250[m/min]

Fig.2 Cutting force of the uncoated insert tip



(a) TiAlN coated tip ; V=200[m/min]



(b) TiAlN coated tip ; V=250[m/min]

Fig. 3 Cutting force of the coated insert tip

Fig. 4는 절삭력 성장 곡선에서 초기 절삭력 크기를 (a)주분력, (b)배분력, (c)이송분력으로 표시한 도표이다. Fig. 4(a),(b) 도표에서 절삭방향으로 작용하는 주분력에 비해 공작물 반경 방향에 작용하는 배분력이 약 10배정도 더 크게 작용하였음을 나타낸다.

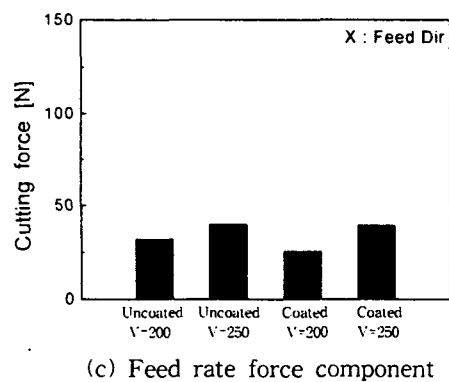
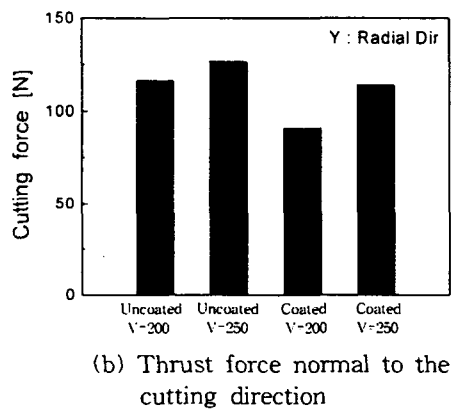
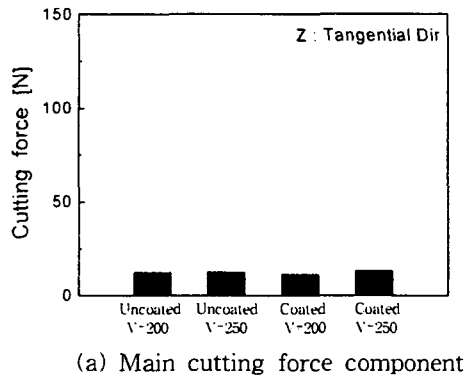


Fig. 4 Cutting forces of early stage in cutting test

3.2 공구마멸 형상 및 특성

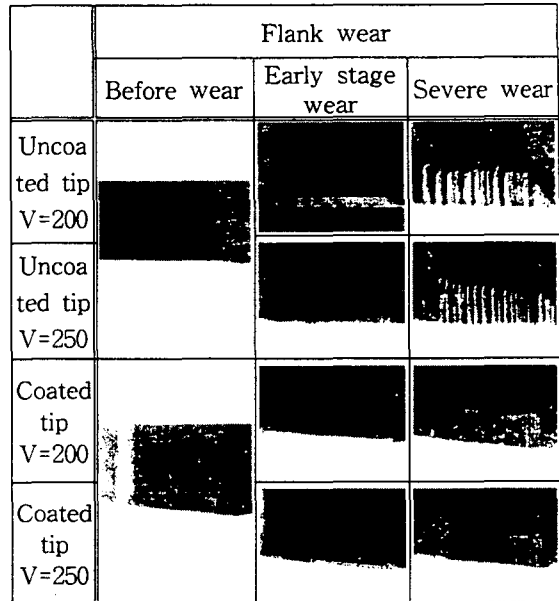


Fig. 5 Wear surfaces of WC tool's flank wear ; V [m/min]

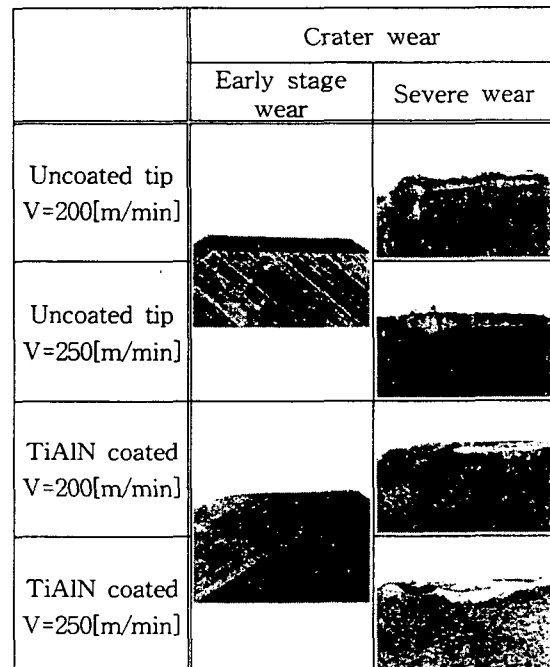


Fig. 6 Wear surfaces of WC tool's crater wear

Fig. 5와 Fig. 6은 각각 인서트 팁 인선의 0.3mm 이내에서 측정된 여유면 마멸과 경사면 마멸을 통해서 본 공구마멸 형상과 특성을 나타낸 것이다. Fig. 5의 사진들에서 비코팅 팁의 여유면에 비해 TiAlN 코팅 팁의 여유면 마멸형태가 안정적인 형태를 하고 있고 Fig. 6의 사진들에서는 TiAlN 코팅 팁의 경사면 마멸량이 훨씬 작음이 보인다.

Fig. 7은 절삭길이에 따른 공구 마멸정도를 나타낸 공구마멸 성장곡선이다. 도표에서 TiAlN 코팅 팁은 비코팅 팁에 비해 초기에 안정된 마멸거동을 보이다가 마멸이 진행될수록(약 0.15~0.2mm) 급격한 성장을 보인다.

또한 TiAlN 코팅 팁의 선속도 변화가 비코팅 팁에 비해 안정적이었고 V=200, 250[m/min] 일 때 마멸량 0.2mm 근처에서 역전현상이 나타남을 알 수 있었다.

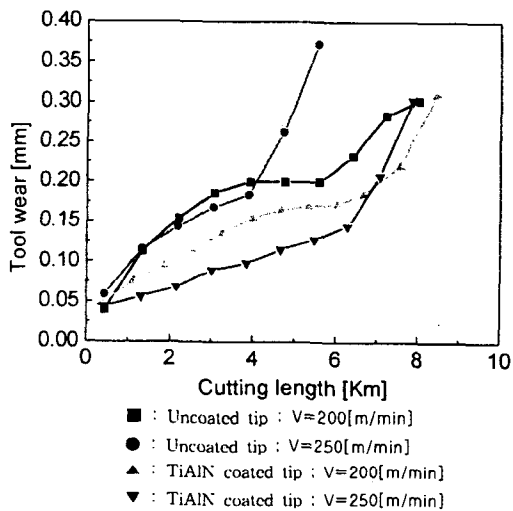
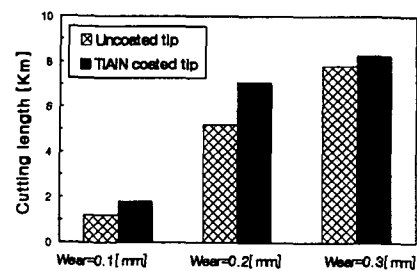


Fig. 7 Growth curve of the tool wear

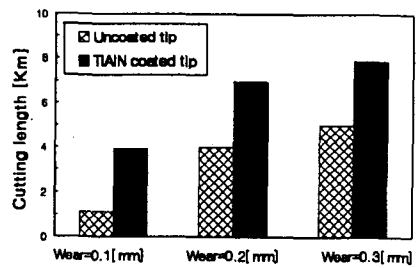
Fig. 8(a), (b)은 각각 V=200, 250[m/min]에서 절삭길이에 따른 공구마멸정도를 나타낸 공구마멸 수명비교표이다. Fig. 8(a) (V=200[m/min])에서 가공 초기와 공구 마멸시에 TiAlN 코팅 팁과 비코팅 팁의 공구수명에서 차이는 있었지만 크지는 않았다. Fig. 8(b) (V=250[m/min])에서는 가공 초기에서 공구마멸시까지 평균적으로 TiAlN 코팅 팁이 3배이상의 긴 공구 수명을 보였다. 따라서 저속일 경우 보다 속도를 높일수록 비코팅 팁에 비해 TiAlN 코팅팁의 공구수명이

더 우수함이 보여진다.

그러나 TiAlN의 공구수명은 V=250[m/min]일 때 TiAlN 코팅팁 0.1mm 마멸시 V=200[m/min]일 때 보다 2배이상이지만 0.2~0.3mm 마모량에서는 TiAlN 코팅팁의 공구 수명은 절삭속도(V)를 빠르게 하여도 거의 변화가 보이지 않았다. 이는 TiAlN이 상대적으로 낮은 마찰계수를 가지므로 단속 절삭 및 고속절삭등의 높은 마찰계수를 요하는 작업에서 절삭력이나 내 마모성이 작기 때문이다.



(a) V=200[m/min]



(b) V=250[m/min]

Fig. 8 Comparisons of the tool life in terms of tool wear

4. 결론

본 연구에서는 WC-Co 초경합금 P20 Cutting Insert Tip을 TiAlN 코팅하여 공작물 SNCM420에 대한 절삭실험을 행하고 절삭공구의 절삭성능, 공구 마멸 및 수명을 비교 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 통상의 절삭조건에서는 3분력중 주분력이 가장 큰 값을 가지지만 본 실험에서 공작물과 인

서트 팁사이에 발생하는 절삭 특성에 있어서 주
분력에 비해 배분력이 훨씬 더 크게 작용하였다.
② 인서트 팁 인선 0.3mm 범위내의 공구 형상에
서 TiAlN 코팅 팁이 여유면 마멸형태도 안정적
이고 경사면 마멸량도 작음을 관찰할 수 있었다.
③ 공구 마멸 성장 곡선에서 $V=200[m/min]$ 일
때 보다 $V=250[m/min]$ 일 때 비코팅 팁과 TiAlN
코팅 팁의 공수수명의 차이는 평균적으로 매우
크게 나타 났으며 공구 마모량이 0.1mm에서
0.3mm로 증가하면 비코팅 팁과 TiAlN 코팅 팁
의 공구수명차는 균일하였다.

후기

본 연구는 BK21 지역대학육성사업 부경대학교
사업단의 지원을 받아 수행된 것입니다.

참고문헌

[1] 김 선규, "표면코팅기술", 명현출판사, 머리말,
(2000)
[2] K. N. Andersen, E. J. Bienk, K. O.
Schweitz, H. Reitz, J. Chevallier, P.
Kringhoj, J. Bottinger, "Deposition,
microstructure and mechanical and
tribological properties of magnetron
sputtered TiN/TiAlN multilayers", Surface
and Coatings Technology (Switzerland),
Vol. 123, No. 2-3, pp. 219-226, (2000)
[3] 김석삼, "TiN 코팅된 고속도강과
합금공구강의 마멸거동",
대한기계학회논문집, Vol. 19, No. 3,
(통권114호), pp.705-712 1225-5963, (1995)
[4] 송건, "CAE에 의한 TiN 증착층의 특성 및
마모거동에 관한 연구", 한국윤활학회 제14회
학술강연회초록집, 통권1991호, pp.38-43
(1991)
[5] I. J. Smith, D. Gillibrand, J. S. Brooks, W.
-D. Munz, S. Harvey and R. Goodwin,
"Dry cutting performance of HSS twist
drills coated with improved TiAlN",

Surface and Coatings Technology, Vol. 90,
Issues 1-2, pp. 164-171 (1997)
[6] D. -Y. Wang, C. L. Chang, K. W. Wong,
Y.-W. Li, W.-Y. Ho, "Improvement of the
interfacial integrity of (Ti,Al)N hard
coatings deposited on high speed steel
cutting tools", 26th International Conference
on Metallurgical Coatings and Thin Films
pp.388-394 (1999)
[7] H. G. Prengel, A. T. Santhanamb, R. M.
Penichb, P. C. Jindalb, K. H. Wendta,
"Advanced PVD-TiAlN coatings on
carbide and cermet cutting tools" Surface
and Coatings Technology, Vol. 94-95,
Issues 1-3, pp 597-602 (1997)