아크 이온플레이팅에 의한 Si 첨가한 Ti-Al-N공구의 기계적 성질과 공구 성능

Mechanical Properties and Cutting Performancr of Si Doped Ti-Al-N Coating Tools by Arc Ion Plating Method

*신석훈[1], #강명창[1], 권동희[2], 김정석[2], 박민석[3], 전영하[3]

*S. H. Shin[1], #M. C. Kang(kangmc@pusan.ac.kr)[1] , D. H. Kwon[2] , J. S. Kim[2], M. S. Park[3], Y. H. Jeon[3]

[1] 부산대학교 하이브리드소재 솔루션 국가핵심연구센터(NCRC/HyMAS), [2]부산대학교 기계공학과, [3](주) 제이엔엘테크

Key words : Al-Ti-Si-N, Nano-composite Material coatings, Mechanical properties, High-speed dry cutting, Tool wear, Cuting force

1. 서론

최근 기계, 조선, 자동차, 항공 등 국가산업의 근간이 되는 제조업에서는 생산성향상에 따른 국제 경쟁력 확보를 위하여 고속가공 기술을 적극적으로 도입하고 있다. 이러한 고속가공에 대응할 수 있는 고성능 절삭공구에 대한 기술 개발도 활발하게 이루어지고 있는데, 주로 각종 공구에 내마멸성 및 경도가 높고 화학적으로 안정한 세라믹 막을 코팅시켜 공구의 수명증가 및 절삭성 향상을 모색하고 있다.

Ti-Al-N 코팅공구의 개발은 공구수명의 획기적인 향상과 고경도소재의 고속가공을 실현할 수 있는 계기가 되었다.(1) 이러한 코팅막은 TiN에 Al이 고용된 결정립들로 이루어진 미세구조를 가지며 우수한 내산화성과 높은 경도값을 갖는 경질 코팅막으로서 고온에서 여러 가지 용도로 응용되고 있다. 특히, Ti-Al-N 코팅막이 높은 내산화성을 보이는 이유는 산화층표면에 Al_2O_3 층이 형성되기 때문으로 알려져 있다.(2) 최근에는 3성분계 코팅막이 지니고 있는 각각의 장점을 이용하기 위하여, 4성분계 Ti-Al-Si-N 코팅막에 대한 연구가 보고되고 있다.(3) Ti-Al-N에 Si를 첨가하는 방법으로서는 Ti-Al-Si-N 합금 타켓을 이용한 RF Magnetron Sputtering(4), Ti-Al-Si 합금 타켓을 이용한 Arc Ion Plating(5) 이 있다. 그리고 가장 일반적인 방법으로는 Ti-Al 합금 타켓을 이용한 Arc Ion Plating과 Si Sputtering에 의한 조합인데, 이 증착방법에서 Si 함유량 제어는 Sputtering 전류, 타켓의 Erosion 상태, Si 타켓과 기판의 거리 등에 따라 이루어지게 되므로 Si 함유량 제어가 매우 어렵다. Si 타켓을 이용한 Sputtering의 경우 타켓을 40% 이하만 사용할 수 있으며 그 가격또한 Silane (SiH_4) 가스보다 매우 고가이다. 또한 고속가공용으로 현재 많이 사용되고 있는 Ti-Al-N 코팅공구에 대응용이한 새로운 Ti-Al-Si-N 코팅공구의 기계적 성질과 구조 그리고 절삭성능에 관한 비교 평가에 관한 연구는 거의 연구가 이루어지지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 아크이온 플레이팅 증착방법을 사용하여 Ti-Al를 Cathodic Arc에 의한 PVD공정을 채용하고, Silane (SiH_4) 가스과 질소(N_2) 가스 분압에 의해 Si 함유량을 쉽게 제어할 수 있는 Ti-Al-Si-N 코팅막 증착 공정을 개발하였다. 이를 통해 초경모재의 시험편에Ti-Al-N과 각각의 Si함유량으로 Ti-Al-Si-N코팅하여 기계적 특성인 미소경도, 잔류응력, 밀착력 등과 최적의 구조와 조성에 대하여 조사하였다. 실제 플랫엔드밀공구에 코팅하여 고경도 금형강(STD11, HRC62)을 고속가공조건하에 공구수명에 대한 절삭성능을 비교 평가하였다.

2. 실험

2.1 코팅막 합성 및 분석

Fig. 1에 코팅증착방법에 대한 개략도를 나타내었으며, Ar Ion 충격을 위한 이온소스와 버퍼 레이어를 위한 스퍼트 소스 그리고 이온 플레이팅용 Arc 소스를 이용하였다. 이때 사용한 증착조건은 Table 1과 같고, Arc 타켓의 비율은 Al(67%)과 Ti(33%)이다. 그리고 그 시편은 Si wafer, WC-Co coupon, End-mill(Wc-Co)이다. 시편의 두께는 스터일러스(α-step)로 측정하였고, 최적의 구조 및 조성을 갖는 나노구조 코팅막을 알아보기 위해 XRD, Auger, TEM 분석을 행하였다. 또한 레이저방식으로 잔류응력을 측정하였다.

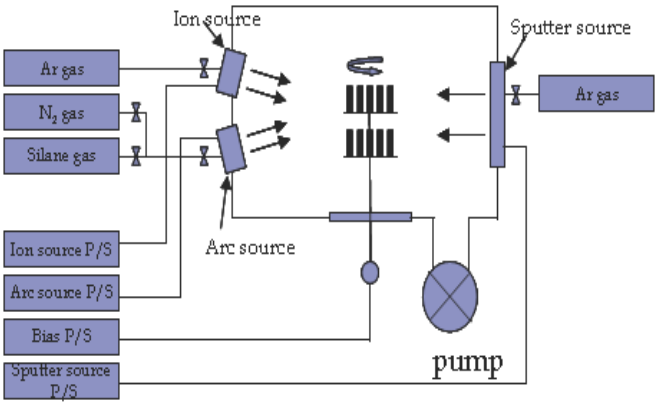


Fig. 1 Schematic diagram of Arc ion plating method

Table 1 Typical deposition conditions

Variaables	Conditions
Substrate temperature	400℃
Buffer layer	1㎛
Vias Voltage	350kHz, -50V
Arc current	28V, 60A
Coating thickness	2㎛
Sample #1, #2, #3, #4	SiH_4/N_2 = 0%, 5%, 10%, 15%

2.2 공구성능 평가

코팅공구별 가공거리에 따른 공구마멸을 비교평가하기 위하여 Fig. 2와 같이 실험장치를 구성하였다. 수직형 고속머시닝센터(Makino, V-55)를 사용하였고, 공구마멸은 공작기계 테이블 위에 고정된 CCD카메라 (Pulnix, x200)에 의해 측정되었다. 절삭실험은 새로운 상태의 코팅공구로 시작하였고, 플랭크마멸 폭을 측정하기 위하여 절삭거리의 임의의 간격에서 중지하여 측정하였다. 0.3mm 기준 값인 플랭크마멸에 의해 얻어진 공구수명은 코팅 성능의 비교평가를 위해 판별기준(ISO 3002/1)으로 채택되었다. 실험에 사용한 절삭공구는 6날 플랫엔드밀로서, 공구직경 10mm, 헬릭스각 45°, 경사각 5°, 여유각 12° 형상을 가지며, 건식상태의 측면/하향절삭 조건하에서 주축회전수 12,000rpm, 날당 이송 0.05mm/tooth, 반경방향 절입 0.06mm, 축방향 절입 10mm로 평가하였다.

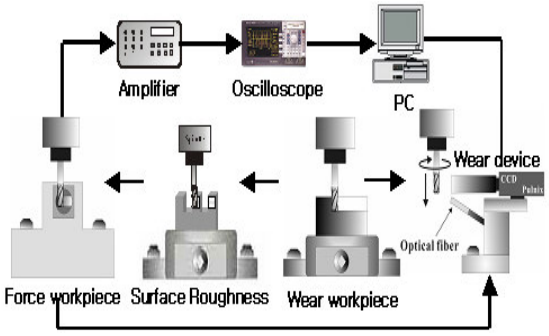


Fig. 2 Experimental set-up for tool wear measurement

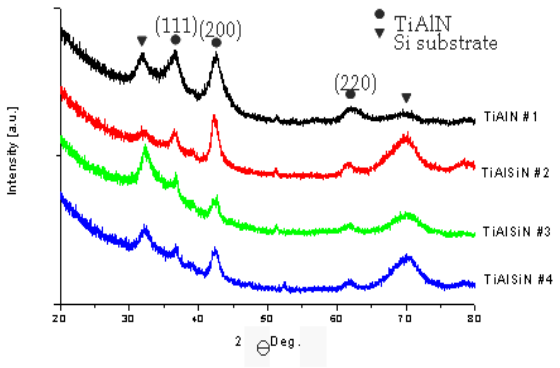


Fig. 3 XRD patterns of as-deposited (Ti,Al,N)Si

Table 2 Mechanical Properties for each coating type

Variaables	TiAlN#1	TiAlSiN#2	TiAlSiN#3	TiAlSiN#4
Ratio of SiH_4 to N_2	0%	5%	10%	15%
Hardness	30GPa	32GPa	36GPa	38GPa
Auger result(Si at. %)	0%	-2.5%	-5%	-9%
Residual stress	3.06GPa	2.75GPa	2.58GPa	2.60GPa
Structue	Crystall f.c.c	"	"	Amorphous

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 코팅막의 기계적 특성

Fig. 3은 증착된 4종류의 코팅막에 대한 X선 회절 패턴을 나타냈다. 회절 패턴분석 결과 (111), (200) 및 (220)면의 결정상을 가지는 Ti-Al-N 코팅막을 확인하였다. 또한 Si 함유량의 증가함에 따라 Ti-Al-N결정상의 피크 Intensity가 감소하는 경향을 보였고, 이와 같은 경향은 TiN에 Si 의 함유량이 변화하는 경우에도 발생하는 이전의 보고와 일치하는 결과를 얻었다. 한편, 4종류의 코팅막에 대한 기계적 특성과 구조분석에 대한 결과는 Table 2에 나타내었다. Ti-Al-Si(9%) 코팅막이 기계적 성질과 구조가 매우 우수함을 알 수 있었다.

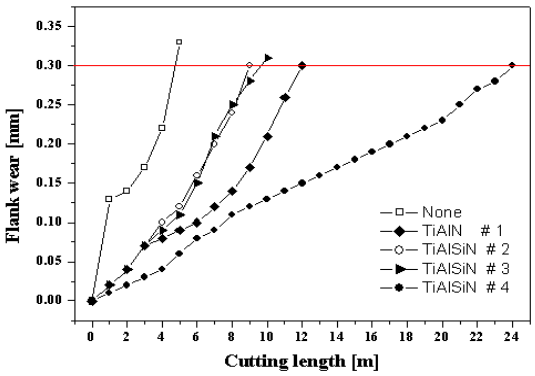
3.2 코팅공구별 절삭성능 평가

Fig.4(a)는 가공거리에 따른 여유면마멸(Flank Wear)의 거동을 나타낸 것으로서, 가공거리의 증가에 따라 뚜렷한 공구마멸의 진전을 보이고 있다. 여유면마멸이 0.3㎜일 때를 공구수명으로 볼 때, 무코팅 초경공구는 4m, Ti-Al-N코팅공구는 11m, Ti-Al-Si(9%)-N 코팅공구는 24m 정도의 수명을 보이고 있다. 고경도 금형강 소재의 고속가공을 통하여 기존의 상용 Ti-Al-N 코팅공구에 비하여 Ti-Al-Si(9%)-N 코팅공구가 약 230%정도 우수한 공구수명을 얻었다. Fig. 4(b,c)는 각 공구에 대한 절삭력과 표면조도의 특성을 나타내었다. 예상한 바와 같이, 무코팅 공구는 절삭력과 표면조도 값에서 가장 큰 값을 가지며, 특히 Ti-Al-Si(9%)-N코팅공구는 절삭력측면에서 매우 양호한 값을 가지며, 표면조도 또한 매우 좋은 가짐을 알 수 있다. 이러한 결과로부터, 향후 공구형상과 코팅조성의 변화에 따른 고속가공용 공구를 양산하기 위한 기반 데이터로 적극 활용하고자 한다.

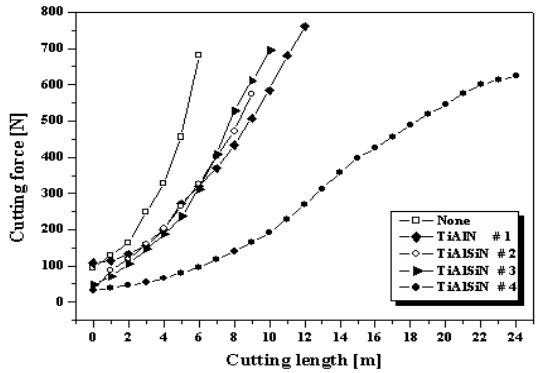
4. 결론

아크이온플레이팅 증착방법으로 Si함유량의 변화에 따른 (Ti,Al,N)코팅막의 기계적 성질을 관찰하였고, 실제 그 코팅막을 플랫 엔드밀공구에 증착하여 고경도 금형강(STD 11, HRC62)에 대하여 고속가공조건에서 공구성능을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

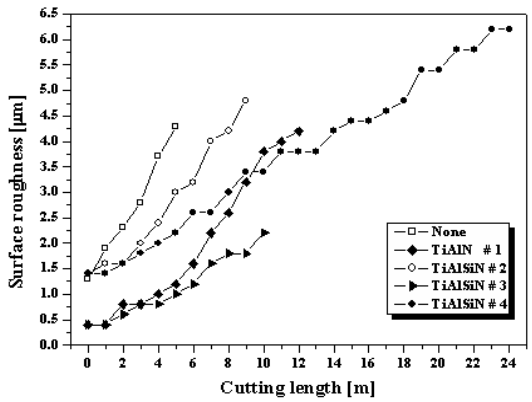
(1) Si 함유량은 SiH_4/N_2 가스 분압에 따라 제어가 용이하여 안정된 증착조건을 구했으며, Si 함유량이 증가할수록 Ti-Al-Si-N 코팅막이 아모퍼스(Amorphous) 결정상 구조를 보였다.



(a) Tool wear as s function of cutting length



(b) Cutting force as s function of cutting length



(c) Surface roughness as s function of cutting length

Fig. 4 Comparison of cutting performance for each cutting tools

(2) Ti-Al-Si(9%)-N 의 코팅막에서 최대 경도값 38GPa을 얻었으며, Si이 첨가됨으로 내산화성이 향상되었다.

(3) Ti-Al-Si-N 코팅시 SiH_4에 있는 H_2성분은 박막형성에 별다른 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

(4) Ti-Al-Si(9%)-N 코팅공구가 Ti-Al-N공구에 비하여 공구수명이 약 230% 정도로 매우 크게 향상되었다.

참고문헌

(1) M. C. Kang, I. W. Park, K. H. Kim, *Surf. Coat. Technol,* Vol 163-164, pp. 734, 2003

(2) D. McIntyre, J.E. Greene, G. Hkansson, J.-E. Sundgren, W.-D. Mnz, J. Appl. Phys., Vol. 67 (3), pp. 1542, 1990

(3) S. Carvalho, L. Rebouta, A. Cavaleiro, L.A. Rocha, J. Gomes, E. Alves, *Thin Solid Films, Vol.* 398-399, pp.391, 2001

(4) S. Carvalho, E. Ribeiro, L. Rebouta, C. Tavares, J.P. Mendonca, A. Caetano Monteiro, N.J.M. Carvalho, J.Th.M. De Hosson, A. Cavaleiro, *Surf. Coat. Technol,* Vol. 177-178, pp. 459-468, 2004

(5) Y. Tanaka, N. Ichimiya, Y. Onishi, Y. Yamada, *Surf. Coat. Technol,* Vol. 146-147, pp. 215-221, 2001