기술논문 한국정밀공학회지 제15권 제8호 (1998년 8월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 15, No. 8, August 1998.

TiYN 코팅 고속도강 공구의 개발 및 공구수명 평가

이 영 문*, 강 태 봉**, 최 수 준***, 송 태 성***

Development and Tool Life Assessment of TiYN Coated High Speed Steel Tools

Youngmoon Lee*, Taebong Kang**, Soojoon Choi***, Taeseong Song***

ABSTRACT

TiYN coated high speed steel tools have been developed and their tool lifes were assessed. First yttrium alloyed titanium target was manufactured, then using the arc ion plating(AIP) technique TiYN coating was deposited onto high speed steel substrate. Three kinds of varying thickness of TiYN coated tools were prepared. Cutting tests were carried out with theses tools and for comparison with the commercially available uncoated, TiN, TiCN and TiAlN coated tools. During the cutting tests flank wear width vs. cutting time was measured. It has been revealed that the newly developed TiYN coated tools show superior tool life characteristics to others.

Key Words : TiYN coated HSS tool (TiYN코팅 고속도강 공구), PVD (물리증착법), CVD (화학증착법), Arc ion plating (아크 이온 플레이팅), Tool life (공구수명)

1. 서 론

최근들어 국내의 산업현장에서는 고속절삭에 따른 생산성향상을 목적으로 초경합금 및 고속도강 공구소재에 고경도의 화합물을 코팅한 공구의 사용이 증가일로에 있으며, 일반공구류 및 금형에의 적용도 확대되는 추세이다.

TiN등 고경도의 화합물을 합성하는 방법은 크게 화학증착법(CVD)과 물리증착법(PVD)으로 나뉘어 진다. 화학증착법은 코팅과 모재 사이에 밀착력을 크게 하지만 작업온도가 약 1,000℃정도로 높기때문에 초경합금등 고융점 합금에 한정적으로 적용되고 있다. 고속도강, 금형강 등 공구강의 경우는 소재의 연화가 일어나지 않는 온도범위인 200℃~500℃에서 작업이 가능한 물리증착법이 적용되고 있으며, 밀착력이 다소 낮은 단점이 있다.[1]

물리증착법은 크게 진공증착법, 스퍼터링법 및 이온플레이팅법으로 분류되며, 이중 이온 플레이팅법에 속하는 아크 이온 플레이팅(AIP:Arc Ion Plating)법은 다른 물리증착법에 비해 높은 이온화율과 이온에너지로 인해 우수한 밀착력과 치밀한 조직의 피막층을 생성시킬 수 있어 고속도강 공구 및 내마모 기계부품코팅에 널리 이용되고

* 경북대학교 공과대학 기계공학부
** 경북대학교 산업대학원 기계공학전공
*** 경북대학교 대학원 기계공학과

있다.[2]

지금까지 전세계적으로 고속도강을 모재로 하는 절삭용 공구로 TiN, TiCN 및 TiAlN등 고경도 화합물 피막을 입힌 코팅공구가 개발되어 상품화되었으며 TiN 및 TiCN의 경우 전반적인 절삭에서, TiAlN의 경우 스테인레스강 및 Ti합금등과 같은 난삭재의 절삭에서 우수한 성능이 보고된 바 있다.[3~6]

국내에서는 현재 일본이나 유럽등 선진외국에서 도입된 장비를 이용한 TiN코팅이 주종을 이루고 있으며, 일부 TiCN, TiAlN코팅서비스가 이루어지고 있으나, 제작공정 및 절삭성능에 대해 발표된 자료가 거의 없는 실정이다. 최근 이등[7]에 의해 코팅공정 개선에 의해 내마모특성이 향상된 TiN코팅 고속도강공구의 개발이 보고된바 있으며, 선진외국에서의 발전단계를 미루어 볼 때 보다 성능이 우수한 코팅공구의 개발이 요구되고 있다.

최근 Liu등[8]에 의해 Ti합금에 1wt% Y를 첨가한 TiY 타겟을 사용하여 TiYN의 합성이 이루어졌으며, TiYN코팅의 경우 TiN코팅보다 훨씬 높은 밀착력을 나타낸다고 보고하였다. 또한 Munz[9]는 대기중 고온산화실험을 통하여 Y가 첨가된 TiAlYN이 TiAlN보다도 훨씬 높은 내산화도를 나타냄을 보고한 바 있다.

본 연구에서는 아크 이온 플레이팅법을 이용하여 현재 연구개발단계에 있으며 전세계적으로 상품화가 이루어지지 않고 있는 TiYN코팅 고속도강공구를 개발하고, 절삭실험을 통하여 이의 내마모특성 및 공구수명을 평가하였다.

2. TiYN 코팅공구의 제작

2.1 TiY합금 타겟의 제조

본 연구에서는 1wt% Y의 TiY합금 타겟을 제조하기 위해 원료소재로 순도 99.6% 이상의 Ti와 99%이상의 Y를 사용하였다. 먼저 Ti와 Y를 정해진 비율로 칭량후 Ar분위기의 아크용해로에서 버튼형상의 Ti-Y 모합금을 제작하였다. 이때 합금의 균일성을 높이기 위해 3회이상 반복 용해하였다. 제작된 버튼들을 진공용접을 통하여 봉상형태로 만든 후, 전자빔 용해로에서 드립용해 및 연속주조에 의해 TiY타겟을 제조하였다.

Fig.1은 제조된 타겟의 EDS 분석결과를 나타내고 있으며, Ti의 중량백분율은 98.47%, Y 1.53%이었다.

2.2 TiYN 코팅시편 및 코팅공구 제작

코팅소재로 직경 16㎜, 두께 6㎜인 디스크 모양의 고속

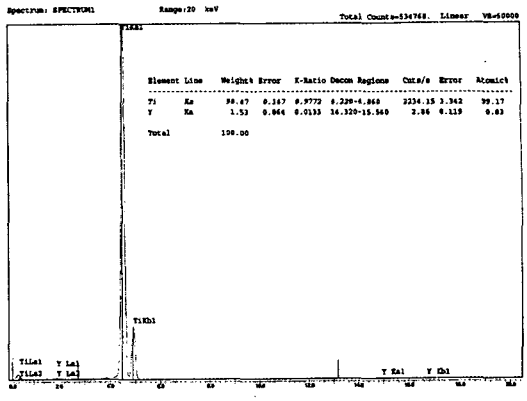

Fig. 1 EDS analysis of TiY target

도강(SKH 51)시편과 국내 O사에서 제작되어 시판되고 있는 직경 5㎜의 4날 고속도강 엔드밀(SKH 56)을 사용하였다. 시편과 공구에 존재하는 불순물을 제거하여 순수한 코팅층을 제작하기 위해서 코팅작업을 하기전에 화학적세척, 증기건조세척 및 초음파세척을 행하였다. 고속도강 디스크 시편과 엔드밀을 노내의 동일한 위치에 장입한 후 코팅작업을 행하였으며 코팅된 고속도강 디스크 시편을 가지고 코팅층의 두께, 경도 및 밀착력 측정을 행하고 코팅된 엔드밀로 절삭실험을 행하였다.

2.3 코팅조건 및 코팅층 물성

코팅공구의 내마모특성을 결정하는 요인으로는 피막층의 두께, 피막층과 모재사이의 밀착력 및 피막층의 조직이 중요하다고 알려져 있으며, 이들 요인은 코팅온도, 바이어스전압, 타겟전류 및 반응가스의 압력등 코팅공정변수의 영향을 받는 것으로 보고된 바 있다.[10]

본 연구에서는 TiN코팅 고속도강 공구개발에 관한 선행연구[7]에서 가장 우수한 내마모특성을 나타낸 코팅공정조건과 동일한 조건하에서 TiYN코팅 공구를 제작하였다.

코팅작업은 노내에 세척된 공구를 장입한 후, 주어진 온도와 진공도까지 예비 가열원을 이용하여 가열함과 동시에 진공펌프를 사용하여 배기한 다음 Ti이온세척, Ti중간층 코팅 및 본 코팅인 TiYN코팅 순으로 이루어 진다. Ti이온세척 공정에서는 Ti타겟을 점화하여 Ti이온을 발생시킨 다음 약 5×10^{-5}Torr의 고진공하에서 500V이상의 음전압을 가하면 Ti이온들이 가속되어, 공구표면에 충돌하게 되면서 이물질과 산화층을 제거하게 된다.

그 후 Ti중간층코팅에서 전압을 400V로 낮추면 Ti이온들이 공구표면에 증착한다. 이때 Ti중간층의 두께는

0.1-0.3㎛정도로 조절하며, 이 공정은 코팅층과 모재의 밀착력을 향상시키기 위한 것이다.

마지막으로 본 코팅에서는 전압을 200V로 낮추고 TiY 타겟을 점화시킨후 반응 가스인 N_2를 투입하여 TiYN코팅층이 공구 표면에 형성되도록 하였다.

코팅시 작업온도는 모재의 변형 및 연화가 일어나지 않는 한도내에서 가장 높은 온도로 하여 주는 것이 유리하다. 이는 온도가 높을수록 증착과정시 모재 표면에서 반응에 참여하는 화학종들의 이동이 쉬우며 이에따라 조직이 보다 치밀해지기 때문이다.[11] 본 연구에서는 고속도강 모재의 연화온도를 감안하여 노내 온도를 450℃로 유지하였다.

공구를 증착로내에 고정시키거나 단순히 공전운동만 부여하는 경우 공구의 위치에 따라 코팅층 두께의 차이가 발생한다.

이와 같은 현상을 방지하기 위해서 Fig.2에 나타낸 바와 같이 공구 및 시편의 공전과 자전이 동시에 일어나도록 하였다

상기의 코팅공정조건하에서 본 코팅인 TiYN의 코팅시간을 50, 80 및 130분으로 하여 3가지 종류의 코팅공구

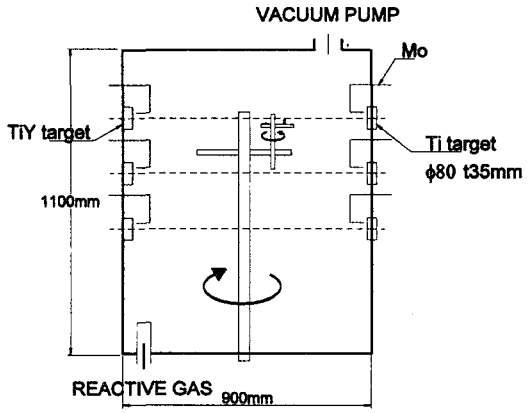

Fig. 2 Arc ion plating apparatus

Table 1 Coating process variables and measured properties

	Ti interlayer coating time and voltage (min,V)	TiYN coating time and voltage (min,V)	coating thickness (㎛)	Hardness (Hv)	Adhesion (N)
TYN1	5 , 400	50 , 200	1.34	1237	>100
TYN2	5 , 400	80 , 200	2.81	1520	>100
TYN3	5 , 400	130 , 200	4.55	1955	>100

및 코팅된 디스크 시편을 제작하였으며 각각 TYN1, TYN2 및 TYN3로 칭하였다.

Table 1에는 코팅공정조건 및 코팅층의 물성치를 나타내었다.

코팅층의 두께는 카로테스트시험기(CSEM사)에 의해 측정하였으며, 코팅층의 두께 측정에 사용되는 카로테스트시험은 구형 압자에 다이아몬드 페이스트를 바른 후 시험편 표면과 접촉시키고 하중을 가하면서 회전시켜 코팅층을 마모시키고, 이때 나타난 밴드형의 마모흔적으로부터 코팅층의 두께를 측정한다. Table 1에서 보는 바와 같이 코팅시간이 증가함에 따라 코팅층의 두께는 대략 선형적으로 증가하였다.

경도는 하중 25g인 조건에서 마이크로 비커스 경도계(Matsuzawa Seiki사)에 의해 측정하였다.

Table 1에서 보는 바와같이 코팅층의 두께가 감소함에 따라 경도가 감소한다. 이는 코팅층의 두께가 감소함에 따라 모재인 고속도강의 경도가 크게 반영되기 때문인 것으로 판단된다.

밀착력은 최대하중 100N인 밀착력측정기(CSEM사)에 의해 측정하였다. 코팅층과 모재의 밀착력은 쉽게 정의되기 어렵기 때문에 박막의 경우 일반적으로 스크래치 테스트에서 얻어지는 임계하중을 사용하고 있다.

TiYN코팅의 밀착력은 3가지 종류 모두 100N이상을 나타냈으며, TiN을 위시한 여타의 코팅보다 우수한 밀착특성을 나타내고 있다.

3. 절삭실험

3.1 절삭공구 및 절삭시편

절삭실험은 전술의 TYN1, TYN2 및 TYN3코팅공구와 이들과 비교하기 위해서 국내 및 독일에서 제작된 동일형상의 비피복, TiN, TiCN 및 TiAlN코팅공구에 대해 행하였다.

비피복 공구로는 국내 Y 및 O사에서 제작된 고속도강 엔드밀을 사용하였으며 각각 UNY 및 UNO로 칭하였으며 국내 Y 및 O사에서 제작된 TiN코팅 고속도강 엔드밀을 TNY 및 TNO로 칭하였다.

또한 독일 M사에서 제작된 TiN, TiCN 및 TiAlN코팅 고속도강 엔드밀은 각각 TNG, TCNG 및 TANG로 칭하였다.

Table 2에는 이들 공구의 기호, 고속도강의 규격 및 피복물질을 나타내었다.

Table 2 Specifications of tools

	Tool code	HSS code(KS)	Coating material
TiYN coated tool	TYN1	SKH56	TiYN
	TYN2	SKH56	TiYN
	TYN3	SKH56	TiYN
Uncoating tool	UNY	SKH51	-
	UNO	SKH56	-
Coated tool	TNY	SKH59	TiN
	TNO	SKH56	TiN
	TNG	SKH56	TiN
	TCNG	SKH56	TiCN
	TANG	SKH56	TiAlN

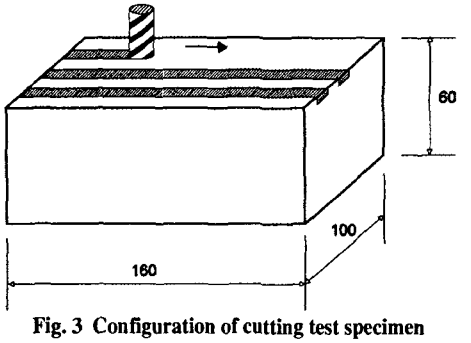

Fig. 3 Configuration of cutting test specimen

절삭실험에 사용한 소재는 S45C강이다. 절삭시편은 Fig.3에 나타낸 바와 같이 길이 160㎜, 폭 100㎜로 제작하였으며 절삭속도 22m/min와 44m/min인 조건에서 각각 길이방향으로 12줄(1920㎜)과 6줄(960㎜) 단위로 절삭실험을 행하였다.

3.2 절삭실험장치 및 실험조건

절삭실험은 머시닝센터를 이용하여 수행하였으며 Table 3에는 머시닝센터의 주요제원 및 절삭조건을 나타내었다.

Table 3 Specifications of machining center and cutting conditions

1. Machining center
   RPM : 40-4000
   Feed : 1-5000 mm/min
   Power : 7.5KW(10HP)
2. Cutting conditions
   Feed : 87mm/min
   Depth of cut : 1mm
   Cutting speed : 22m/min(1400rpm), 44m/min(2800rpm)

4. 공구 마모특성 및 공구수명평가

공구 이송길이 1920㎜ 및 960㎜단위로 절삭가공후 공구현미경(Mitutoyo사)으로 옆날 여유면의 마모폭을 측정하였다. 공구의 4날에 대한 마모폭을 모두 측정하였으며, 그 중 2번째와 3번째 크기의 마모폭 평균값을 공구 마모량으로 정하였다.

공구 마모량의 측정은 정밀절삭시 공구 마모량의 한계인 0.2㎜를 기준으로 하였으며 마모량이 이 값을 넘으면 절삭실험을 중단하였다.

Fig.4(a)는 절삭속도 22m/min인 조건에서, 이송길이 1920㎜, 즉 절삭시간 22분 간격으로 측정된 TYN1, TYN2, TYN3공구의 옆날 여유면의 마모폭 변화상태를, Fig.4(b)는 TiYN코팅 공구와 비교하기 위하여 같은 절삭실험 조건하에서 얻어진 비피복, 국내 및 독일에서 제작된 코팅 공구의 마모폭 변화상태를 나타낸 것이다.

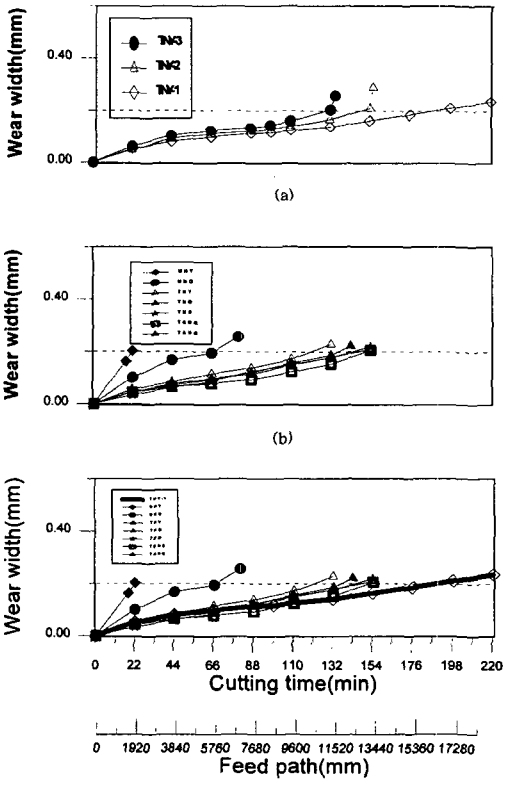

Fig. 4 Relationship between cutting time(min) and wear width(mm) of TiYN coated tools at V=22m/min

Fig.4(c)는 TiYN코팅 공구 중 가장 우수한 내마모특성을 나타낸 TYN1과 Fig.4(b)의 공구 마모 변화상태를 함께 나타낸 것이다.

SKH51을 소재로한 UNY는 이송길이가 1920㎜(절삭시간 22분)도 안되어 여유면 마모폭이 0.2mm를 초과해 S45C강 절삭에는 부적당한 공구로 판단되었다. SKH56을 소재로한 UNO의 경우 UNY에 비해 3배 이상의 공구수명을 나타내며, 이는 고속도강 재질 차이에 기인한 것으로 판단된다.

TiN, TiCN 및 TiAlN을 코팅한 공구의 경우 121~152분의 공구 수명을 나타내 비피복 공구중 공구수명이 비교적 크게 나타난 UNO에 비해 2배 이상의 공구수명을 나타내었다. 한편 TYN1은 절삭시간 110분까지는 TCNG보다 마모가 빠르게 진행되나 그 이후로는 점차 느린 마모특성을 나타내고 있다.

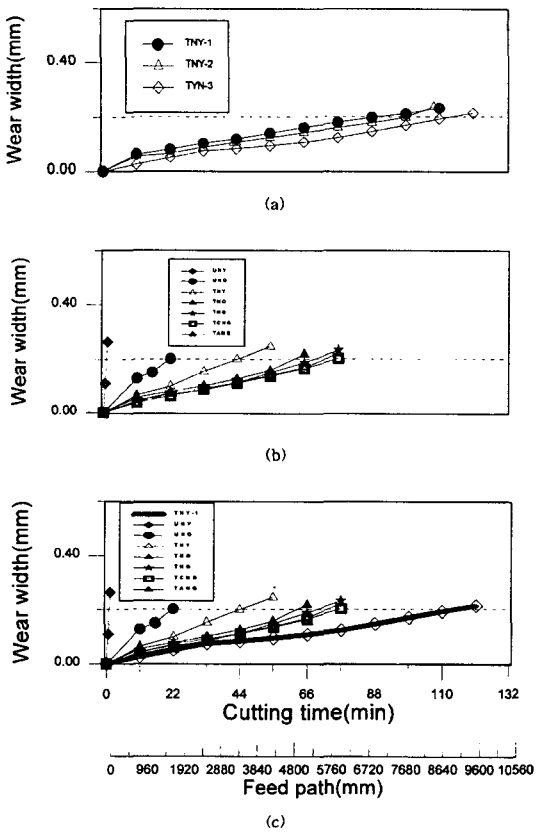

Fig. 5 Relationship between cutting time(min) and wear width(mm)of TiYN coated tools at V=44m/min

TYN1의 공구수명은 188분이었으며, 비교실험을 행한 공구중 가장 우수한 내마모특성을 나타낸 독일 M사에서 제작된 TCNG에 비해 약 1.2배의 공구수명을 나타내었다.

Fig.5(a)는 절삭속도 44m/min, 이송길이 960㎜(절삭시간 11분) 간격으로 측정된TYN1, TYN2, TYN3 공구의 옆날 여유면의 마모폭(㎜)의 변화상태를, Fig.5(b)는 같은 조건하에서의 비피복, 국내 및 독일에서 제작된 공구의 마모폭 변화상태를 나타낸 것이다.

SKH51을 소재로한 비피복 공구 UNY는 절삭시간 1분이내에 마모폭이 공구수명기준 0.2㎜에 달하였으며, 이 공구의 경우 고속절삭에서는 더욱 더 부적당한 공구임을 확인할 수 있다.

SKH56을 소재로한 비피복 공구 UNO는 약 22분의 공구수명을 나타내었으며 UNY에 비해 20배 이상의 공구수명의 향상을 나타내었다.

코팅 공구의 공구수명은 TNY의 경우 44분, TCNG의 경우 77분으로 절삭속도 22m/min인 경우에 비해 1/3~1/2의 공구수명을 나타내었다.

Fig.5(c)는 TiYN코팅 공구 중 가장 공구수명이 큰 TYN1과 Fig.5(b)의 공구 마모변화상태를 함께 나타낸 것이다. TYN1의 공구수명은 115분으로 TCNG에 비해 약 1.5배의 공구수명을 나타내었다.

Table 4는 상기의 실험결과로부터 절삭속도 22m/min 및 44m/min인 조건하에서 공구여유면 마모폭이 0.2㎜에 도달한 시간인 공구수명을 나타내고 있다.

Table 4에서 확인 할 수 있는 바와 같이 절삭속도 22m/min인 조건에서 TYN2 및 TYN3의 경우 각각 149 및 130분의 공구수명을 나타내고 있으며, 이 값들을 국내 및 독일에서 제작된 TiN코팅 공구인 TNO 및 TNG와 비슷한 수준을 나타내었다.

Table 4 Tool life : VB=0.2mm

	Tool code	Tool life (min)	
		V=22m/min	V=44m/min
TiYN coated tool	TYN1	188.0	114.5
	TYN2	149.1	99.8
	TYN3	130.0	90.0
Uncoating tool	UNY	21.8	1.05
	UNO	67.4	21.8
Coated tool	TNY	121.2	44.4
	TNO	136.4	63.0
	TNG	144.0	69.4
	TCNG	152.0	76.7
	TANG	147.4	72.9

그러나 TYN1의 공구수명은 188분으로 TiN코팅 공구에 비해 30~40% 정도의 향상된 공구수명을 나타내고 있다.

한편 절삭속도 44m/min인 조건에서는 TYN1, TYN2 및 TYN3 모두 국내 및 독일에서 제작된 TiN, TiCN 및 TiAlN코팅 공구보다 공구수명이 길게 나타났으며 특히 TYN1의 경우 가장 우수한 공구수명 특성을 나타내었다.

이는 Y첨가에 의한 코팅층의 밀착력 증대[8]와 절삭속도의 증가에 따른 고온에서의 내산화도 증대[9]에 기인하는 것으로 판단된다.

5. 결 론

1. 아크 이온 플레이팅(AIP)법을 이용하여 고속도강 공구 소재에 TiYN코팅층을 피복시킨 TiYN코팅 고속도강 공구를 개발하였다.

2. 코팅층의 두께 1.34㎛인 TYN1의 경우 절삭속도 22m/min 및 44m/min인 조건하에서 국내 및 독일에서 제작된 TiN, TiCN 및 TiAlN코팅 공구에 비해 향상된 공구수명을 나타내었으며, 특히 보다 고속절삭속도인 44m/min의 조건에서 더욱 우수한 공구수명 특성을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. J. E. Sundgren and H. T. G. Henzell, "Critical Review : A Review of the Present State of Art in hard Coatings grown from the Vapor Phase," J. Vac. Sci. Technol., A4(5), pp. 2259 - 2273, 1986.
2. A. Matthews, "Titanium Nitride PVD coating technology," Surface Engineering, Vol. 1 No. 2, pp. 93 - 104, 1985.
3. M. Bruno, S. Bugliosi and R. Chiara, "The Perfermance of Titanium - Nitride coated HSS Tools," Transaction of the ASME, Vol. 101, pp. 274-277, July 1988.
4. Per Wallen, Asa Kassman, Sture Hogmark and Staffan Jacobson, "How TiN Coatings improve the Performance of High Speed Steel Cutting Tools," Surface and Coatings Technology, 41, pp. 243 - 256, 1990.
5. E. Bergmann et al. "Ion plated titanium carbonitride films," Surface and Coating Technology, Vol. 42, pp. 237 - 251, 1990.
6. T. Leyendecker et al., "Current Industrial practices, The development of the PVD coating TiAlN as a commercial coating for cutting tools," Surface and Coating Technology, Vol. 48, pp. 175-178, 1991.
7. 이영문, 손윤호, 최복준, 김훈석, 백정엽, "코팅공정 개선에 의한 TiN코팅 고속도강공구의 내마모특성 향상," 한국정밀공학회, 13권 11호, pp. 32-37, 1996.
8. C. Liu et al., "Correlation of interfacial structure and microstress of Yttrium-modified ion plated titanium nitride film with its adhesion property," Thin Solid Films, Vol. 207, pp. 98 - 101, 1992.
9. D. S. Rickerby and A. Matthews, "Advanced Surface Coating," Blackie and son Ltd, pp. 120 - 123, 1991.
10. D. S. Rickerby and P. J. Burnett, "The Wear and Errosion Resistence of Hard PVD Coatings," Surface and Coating Technology, Vol. 33, pp. 191-211, 1987.
11. M. K. Hibbs et al., "Effect of Substrate Temperature and Substrate Material on the Structure of Reactively Spuuttered TiN Films," Thin Solid Films, Vol. 112, pp. 115 -129, 1984.