

코팅공정 개선에 의한 TiN코팅 고속도강 공구의 내마모특성 향상

이영문*, 손윤호**, 최복준***, 김훈석****, 백정업****

Enhancement of Wear Resistance of TiN Coated High Speed Steel Tools through Improving Some Coating Processes

Youngmoon Lee*, Yoonho Son**, Bokjun Choi***, Hunsuk Kim****, Jyoungyup Baek****

ABSTRACT

Using the arc ion plating(AIP) process, TiN coating was deposited onto high speed steel substrates. The effects of coating thickness, titanium interlayer and shield on wear resisting capability of the coated tools were investigated.

In order to promote good adhesion between the substrate and the TiN coating a thin Ti interlayer was deposited. A shield was set up also between Ti target and high speed steel substrates to prevent molten droplets from reaching the substrate. Three series of varying thickness of TiN coated layer were prepared with or without the Ti interlayer, and with or without the shield. The tools with the Ti layer and the shield showed longer tool lives than those of other series of tools and the commercially available TiN coated HSS tools, by up to 70%.

Key Words: Tool Wear(공구마모), TiN coated HSS tool(TiN코팅고속도강공구)

1. 서론

상업적으로 개발된 최초의 코팅공구는 초경합금 소재에 화학증착법(CVD)에 의해 TiC피막을 입힌TiC코팅 WC 합금공구로 강의 절삭시 비피막공구 에 비해 매우 우수한 내마모특성을 나타내었다. 그 후 여러종류의 탄화물 및 질화물 코팅 초경합금공구의 개발이 이루어졌으나 실질적으로는 TiC, TiN, Al₂O₃코팅공구가 넓게 사용되고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾ 절삭가공산업에서의 세라믹 코팅 초경공구의 성

공적인 사용은 고속도강 및 일반 공구강을 소재로 하는 코팅기술의 개발을 촉진하였으며, 코팅방법으로는 공구 소재의 연화가 일어나지 않는 온도 범위에서 작업이 가능한 물리 증착법 (PVD)이 이용되고 있다.⁽³⁾

최근 고속도강 소재 표면에 TiN 피막을 증착시킨 TiN 코팅 고속도강 공구의 적용이 확대되고 있으며, 이는 TiN코팅층 고유의 내마모특성에 기인하는 공구 마모의 감소와 더불어 피삭재와의 접촉상태 개선으로 절삭력의 감소와 가공면의 표면상태 개선이 이루어지기 때문이

* 경북대학교 기계공학부
** (주) 뉴-테크
*** 대구경북지방 중소기업청
**** 경북대학교 대학원 기계공학과

다.⁽⁴⁾⁽⁵⁾

TiN코팅공구의 마모특성을 결정하는 요인으로는 피막층의 두께, 피막층과 모재사이의 밀착력 및 피막층의 조직이 중요하다고 알려져 있으며, 이들요인은 코팅온도, 코팅시간, 바이어스 전압, 타겟전류 및 반응가스인 질소의 압력등 코팅공정변수의 영향을 받는 것으로 보고된 바 있다.⁽⁶⁾

물리증착법은 크게 진공증착법, 스퍼터링법 및 이온플레이팅법으로 분류되며, 이 중 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 공구 및 내마모 기계부품코팅에 널리 이용되고 있다. 그러나 AIP법의 가장 큰 단점으로는 드롭렛(droplet)이라 불리는 큰 입자들이 코팅층에 부착되어 코팅층의 기계적 성질을 저하시키는 것이며, 최근 드롭렛 발생을 억제하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.^{(8),(9)} 또한 모재와 TiN코팅층 사이에 밀착력 향상을 목적으로 한 Ti피막층의 삽입이 시도되고 있으며, 이러한 Ti중간 피막층의 존재가 마모저항에 미치는 영향에 대한 연구도 이루어지고 있다.⁽¹⁰⁾

본 연구에서는 내마모특성이 우수한 공구의 개발을 목적으로 피막층의 두께, Ti중간 피막층의 유무 및 Ti중간 피막층 증착시 쉴드(shield)유무를 공정변수로하여 3계열의 TiN코팅 고속도강 공구를 제작하였으며, 절삭실험을 통하여 이들 공구의 마모특성을 평가하였다.

2. TiN코팅

2.1 아크 이온 플레이팅 공정

TiN코팅을 하기위해 아크이온플레이팅 장비를 사용하였으며, Fig.1은 증착로의 개략도이다.

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

그 후 Ti중간층코팅에서 전압을 약 400V이하로 낮추

면 Ti이온들이 공구표면에 증착한다. 이때 Ti중간층의 두께는 0.1-0.3 μ m정도로 조절하며, 이 공정은 코팅층과 모재의 밀착력을 향상시키기 위한 것이다.

마지막으로 본코팅에서는 음전압을 더욱 낮추고 주어진 양의 반응 가스인 N_2 를 투입하여 원하는 고경도 화합물이 공구 표면에 형성되도록 한다.

코팅시 작업온도는 모재의 변형 및 연화가 일어나지 않는 한도내에서 가장 높은 온도로 작업하는 것이 유리하다. 이는 온도가 높을수록 증착시 모재표면에서 반응에 참여하는 화학종들의 이동이 쉬우며 이에따라 조직이 보다 치밀해지기 때문이다.⁽¹¹⁾⁽¹²⁾

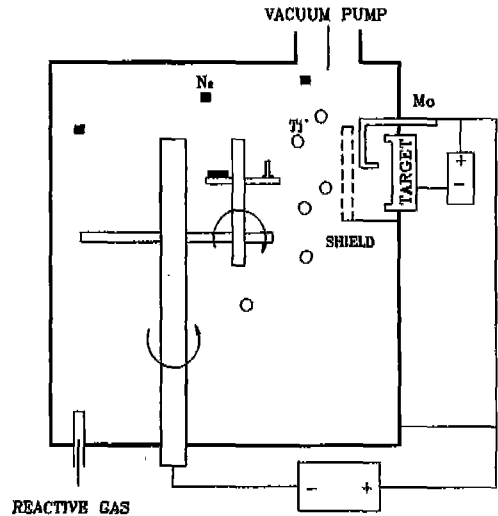


Fig.1 Arc ion plating apparatus

본 연구에서는 고속도강 모재의 연화온도를 감안하여 노내 온도를 450 $^{\circ}$ C로 유지하였다. 공구를 증착로내에 고정시키거나 단순히 공전운동만 부여하는 경우 공구의 위치에 따라 피막두께의 차이가 발생한다.

이와 같은 현상을 방지하기 위해서 Fig.1에 나타낸 바와 같이 공전과 자전이 동시에 일어나도록 하였다.

Fig.2는 질소유량에 따른 노내 압력의 변화를 나타낸 것이다. 타겟을 점화한 후 질소를 투입하면 투입된 질소는 Ti이온과 반응하여 모두 TiN막을 형성하는데 쓰이므로 노내의 압력은 낮은 값을 나타낸다.

이와 같은 현상이 어느정도 유지되다가 질소유량이 임계값에 이르면 노내의 압력은 급증한다.

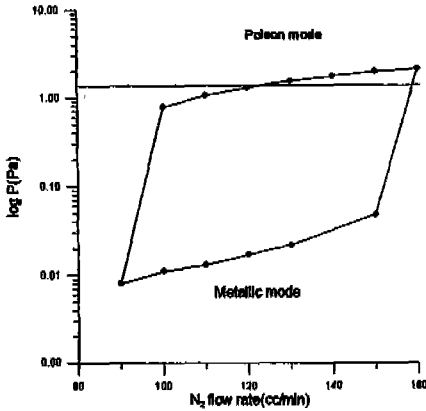


Fig.2 Flow rate vs. pressure of N₂ gas

즉, TiN 형성에 쓰이고 남은 잉여의 질소가 Ti타겟표면에 부착되어 TiN막을 형성시키고, Ti의 증발속도는 크게 감소하며 이에따라 TiN형성에 참여하는 질소의 양도 저하하므로 노내 압력이 순간적으로 급격히 증대하게 된다.

압력이 일단 상승한 후 다시 질소유량을 감소시켜도 TiN막이 쉽게 제거되지 않으므로 질소의 압력은 서서히 저하하며 질소유량이 임계값 이하가 되면 압력이 급격히 저하한다.

Fig.2 에 나타난 이력곡선에서 높은 압력 상태를 포이즌 모드(Poison mode)라 하고, 낮은 압력상태를 메탈릭 모드(Metallic mode)라고 한다. 본 연구에서는 증착속도의 저하가 예상되지만 드롭렛의 양을 줄일수 있는 포이즌 모드인 질소압력 1.5Pa인 조건에서 실시하였다.⁽¹³⁾

2.2 코팅공정변수 및 코팅층의 물성

코팅공구의 성능은 전술한 바와같이 피막층의 두께, 피막층과 모재사이의 밀착력 및 피막층의 조직에 의존한다. 본 연구에서는 코팅층의 두께, Ti중간 피막층의 유무 및 Ti중간층 증착시 쉴드유무를 공정변수로 하여 A계열 3종류, B계열 6종류, C계열 3종류 총3계열 12종류의 TiN 코팅 고속도강 공구를 제작하였다.

코팅공구 제작시 코팅시간을 달리하여 피막층의 두께를 변화시켰으며, 모재와 TiN코팅층 사이에 Ti중간 피막층을 갖는 피막구조(A,B계열)와 중간피막층이 없는 피막구조(C계열)의 코팅공구를 제작하였다.

또한 Ti중간층 증착시 Ti이온이 집단적으로 비교적 큰 입자의 형상을 지닌 드롭렛의 형태로 공구표면에 증착되

는 것을 방지할 목적으로 Ti타겟과 공구모재 사이에 쉴드를 설치하여 제작된 공구(B계열)와 쉴드를 설치하지 않고 제작된 공구(A계열)의 성능을 비교하였다.

코팅층의 두께, 경도, 밀착력 및 드롭렛의 분포등 코팅층의 물성은 공구모재와 동일한 조건으로 코팅한 직경 16mm, 두께 6mm인 고속도강 디스크시편에서 측정하였다.

코팅층의 두께는 CAROTEST기(CSEM사)에 의해 측정하였으며, 경도는 하중 25g인 조건에서 미소경도계(Matsuzawa Seiki사)에 의해 측정하였다.

밀착력은 최대하중 100N인 밀착력측정기(CSEM사)에서 측정하였으며, 영상분석(Optimas version7.0)에 의해 드롭렛의 분포를 측정하였다. Table 1에 코팅공정변수 및 물성측정 결과를 나타내었다.

Table 1 Coating process variables and measured properties

	Ti interlayer coating time and voltage (min, V)	TiN coating time (min)	coating thickness (μm)	Hardness (Hv)	Adhesion (N)
A1	4 . 400	70	1.74	1370	49
A2	4 . 400	100	2.46	1420	81
A3	4 . 400	130	3.37	2032	69
B1	10 , 500 (with shield)	40	1.36	938	93
B2	10 , 500 (with shield)	50	1.70	1164	91
B3	10 , 500 (with shield)	60	1.96	1387	83
B4	10 , 500 (with shield)	90	2.44	1518	100
B5	10 , 500 (with shield)	100	2.70	1548	100
B6	10 , 500 (with shield)	130	3.46	1712	100
C1	none	60	1.49	1237	85
C2	none	100	2.50	1473	80
C3	none	130	3.66	1819	75

Table 2 Specifications of Milling M/C and Cutting conditions

- =====
1. Milling machine
 - RPM : 90-1400(9 steps)
 - Feed : 15-347 mm/min (11 steps)
 - Power : 3 HP
 2. Cutting conditions
 - Feed : 87 mm/min
 - Depth of cut : 1mm
 - Cutting speed : 1400 rpm
- =====

3. 절삭시험

3.1 공구

본 연구에서는 직경 5mm인 4날 고속도강엔드밀을 모재로 하여 코팅공정변수중 Ti중간층 유무와 셸드유무에 따라 3계열 12종류의 코팅공구를 제작하고, 이들에 대한 절삭시험을 통하여 내마모특성을 조사하였다.

또한 이들과 비교하기 위하여 코팅하지 않은 공구, 국내 X사 및 Y사에서 제작된 TiN코팅공구와 독일M사에서 제작된 TiN코팅공구에 대한 절삭시험도 병행하였다.

3.2 절삭조건

절삭시험은 수직 밀링머신에서 1회 절삭길이 160mm인 SM45C절삭시편에 대해 12회 절삭단위(절삭길이 1920mm)로 행하였으며 Table 2에 밀링머신의 규격과 절삭조건을 나타내었다.

3.3 절삭시험 결과

엔드밀에 의한 정밀가공시 통상적으로 공구수명은 여유면 마모량이 0.15mm에 달했을 때이다. 이에따라 본 연구에서도 여유면 마모량이 0.15mm에 이를때를 공구수명 기준으로 하였다. 절삭길이 1920mm마다 공구현미경(Mitutoyo사)에 의해 여유면 마모량을 측정한 결과를 Table 3에 나타내었다.

또한 Fig.3에는 A,B,C계열중 각각 내마모특성이 가장 우수한 A1,B5,C1코팅공구와 코팅하지 않은 공구, X사, Y사 및 M사제 코팅공구의 절삭길이에 대한 여유면 마모

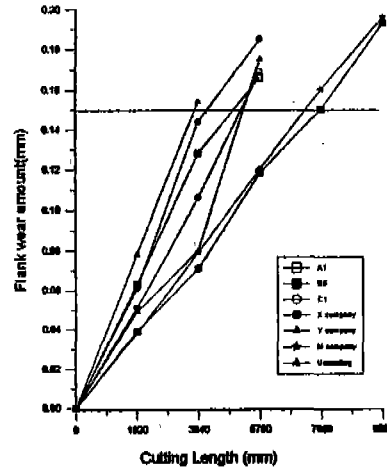


Fig.3 Cutting length vs. flank wear amount for selected tools

량을 나타내었다. Table 3과 Fig.3에서 보는 바와같이 A계열, C계열 및 X사, Y사의 코팅공구는 절삭량 5760mm에서 정밀절삭 공구의 공구마모량 한계치인 0.15mm에 도달하였고, 코팅하지 않은 공구는 3840mm 절삭한 후 마모량이 0.15mm보다 큰 값을 나타내었다.

우수한 내마모특성을 나타내고 있는 B계열 공구는 7680mm - 9600mm 절삭후 마모량이 0.15mm를 초과하였다. 한편 M사에서 제작된 공구의 경우 절삭길이 9600mm에서 마모량이 0.196mm에 달하였으며, 본 연구에서 얻어진 가장 내마모특성이 우수한 B5공구(0.176mm)에 비해 약간 큰 마모량을 나타내었다.

Table 3 Flank wear amount (mm)

cutting length (mm)	1920	3840	5760	7680	9600
A1	0.045	0.127	0.165		
A2	0.045	0.123	0.170		
A3	0.063	0.128	0.166		
B1	0.042	0.073	0.117	0.124	0.183
B2	0.037	0.073	0.120	0.143	0.186
B3	0.036	0.082	0.129	0.152	0.192
B4	0.039	0.071	0.118	0.150	0.193
B5	0.025	0.065	0.105	0.148	0.176
B6	0.044	0.074	0.127	0.153	0.206
C1	0.054	0.109	0.154		
C2	0.061	0.144	0.185		
C3	0.051	0.106	0.169		
X company	0.046	0.063	0.185		
Y company	0.049	0.080	0.175		
M company	0.038	0.079	0.120	0.160	0.196
Uncoating	0.078	0.154			

4. 고찰

Table 3 및 Fig.3에서 보는 바와같이 Ti중간피막층 증착시 셸드를 사용하지 않은 경우(A계열)와 Ti중간피막층이 없는 경우(C계열)를 비교하면 여유면 마모량이 큰 차이를 나타내지 않는다.

그러나, Ti중간피막층 증착시 셸드를 사용한 경우(B계열)는 A계열과 C계열에 비해 내마모특성이 대폭적으로 향상되었다. Fig.4는 A계열중 가장 내마모특성이 우수한 A1과 B계열중 가장 우수한 내마모특성을 나타낸 B5 디스크시편의 Ti중간피막층의 현미경사진에 대한 영상처리 결과를 나타낸 것이며, Table 4에는 Fig.4중 직사각형내에 분포되어 있는 드롭렛의 분석결과를 나타내었다. Table 4에서 보는 바와같이 A1의 경우 B5에 비해 비교적

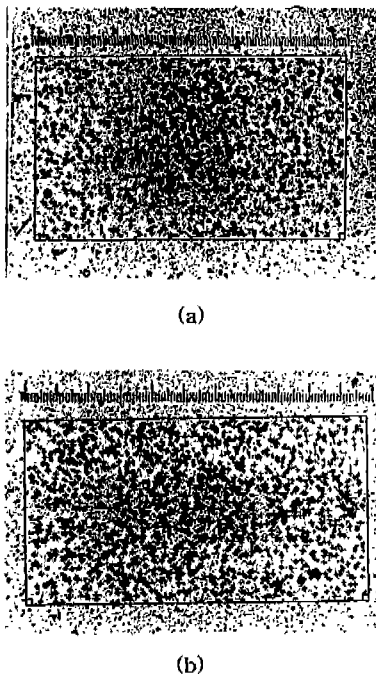


Fig. 4 Picture analysis of the droplet distributions of (a) A1 and (b) B5 Ti interlayers

Table 4 Results of Picture analysis of the droplet distributions

statics specimens	No. of samples	Min. area of droplet (μm ²)	Max. area of droplet (μm ²)	Mean area of droplet (μm ²)
A1	1732	13.36	1108	32.3
B5	2060	13.36	441	24.7

크기가 큰 드롭렛이 산재해 있음을 알 수 있다. A1의 경우 가장 큰 드롭렛의 면적은 1108 m²이며 B5의 441 m²에 비해 상당히 큰 값을 나타내며, A1의 평균크기(32.3 m²)도 B5(24.7 m²)에 비해 큰 값을 나타내고 있다.

Fig.5는 절삭길이 3840mm일 때 마모된 공구의 단면을 나타낸 사진으로 A1공구의 경우 TiN코팅층이 대부분 탈락한 반면 B5의 경우는 상당부분이 남아있음을 알 수 있다. 이는 Table 1에 나타난 밀착력측정 결과에서도 주어진 바와 같이 A1공구의 TiN코팅층과 모재사이의 밀착이 B5공구에 비해 상대적으로 약하기 때문으로 판단된다.

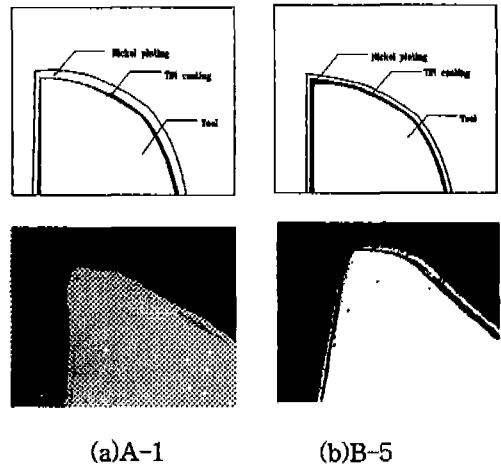


Fig. 5 Microphotographs of section of worn tools (a)A-1 and (b)B-5 (X 50)

5. 결론

TiN코팅공정에서 Ti중간피막층 증착시 타겟과 모재 사이에 쉘드를 사용한 경우 드롭렛의 크기가 상당히 감소하며, TiN피막층과 모재사이의 밀착력이 증대한다.

또한 이와같은 공정으로 제작된 코팅공구는 쉘드를 사용하지 않고 제작된 공구나 Ti중간피막층이 없는 경우에 비해 높은 내마모특성을 나타내며, 현재 시판되고 있는 국내 X사 및 Y사 제품에 비해 약 70%이상 높은 공구수명을 나타내고, 세계적으로 명성을 얻고있는 독일 M사에서 제작된 TiN코팅공구에 뒤떨어지지 않는 내마모특성을 나타내었다.

참고 문헌

1. Carbide, "Germany Patent 2,007,427, Issued to Sandvikens Jernverks Aktiebolag, September 10, 1970.
2. N.P.Suh, "Coated Carbides-Past, Present and Future," Proc. 4th. Int. Conf. Prod. Eng., pp 118-143, Tokyo 1980.
3. 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.
4. M.Bruno, S.Bugliosi and R.Chiera, "The Performance of Titanium-Nitride Coated HSS Tools", Transactions of the A.S.M.E. 101, pp 274-277, 1988.
 5. Per Wallen, Asa Kassman, Sture Hogmark and Staffan Jacoboson, "How TiN Costings Improve the Performance of High Speed Steel Cutting Tools," Surface and Coatings Technology, 41, pp 243 - 256, 1990.
 6. D.S.Rickerby and P.J.Burnett, "The Wear and Errosion Resistance of Hard PVD Coatings," Surface and Coating Technology , 33, pp 191- 211, 1987.
 7. P.C.Johnson, "Cathodic Arc Plasma Deposition of Thin Films," Thin Film Processes II edited by J.L.Vossen and W.Kern, Academic Press Inc., pp 209 - 280, 1991.
 8. J.Vyskocil and J.Musil, "Arc Evaporation of Hard Coatings: Process and Film Properties," Surface and Coatings Technology, 43/44, pp 299-311, 1990.
 9. C.N.Tai, E.S.Koh and K.Akari, "Macroparticles on TiN Films prepared by the Arc Ion Plating Process," Surface and Coatings Technology, 43/44, pp 324 - 335, 1990.
 10. D.S.Rickerby ,S.J.Bull, T.Robertson and A. Hendry, "The Role of Titanium in the Abrasive Wear Resistance of Physically Vapour-deposited TiN," Surface and Coatings Technology, 41, pp 63 - 74, 1990.
 11. J.A.Thornton, "Influence of Apparatus Geometry and Deposition Condition on the Structure and Topography of Thick Sputtered TiN Films," Thin Solid Films, 122, pp 115 - 129,1984.
 12. M.K. Hibbs et al , "Effect of Substrate Temperature and Substrate Material on the Structure of Reactively Sputtered TiN Films," Thin Solid Films, 112, pp 115-129, 1984.
 13. HandBook of Thin Film Process Technology Institute of Phsics Publishing edited by David A.Glocker, S.Ismar Shah, pp A3.0 :1 - A3.0:18, 1995.