

AlTiN 코팅 층수에 따른 볼 엔드밀의 마모특성에 관한 연구

A Study on the Wear Characteristics of the Ball End Mill According to the AlTiN Coated Layers

조규재¹, 이승철²✉
Gyu Jae Cho¹ and Seung Chul Lee²✉

¹ 조선대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Chosun Univ.)

² 조선대학교 기계공학과 대학원 (Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Chosun Univ.)

✉ Corresponding author: cjf9400@nate.com, Tel: 062-230-7947

Manuscript received: 2009.12.1 / Revised: 2010.3.3 / Accepted: 2010.5.10

In this research KP-4, one of the plastic mold steels, was coated with the AlTiN from one layer to four layers by the PVD method in the ϕ cemented carbide ball end mill. Coated KP-4 was processed with various conditions. For example, slope of 15°, 30° and 45° the spindle rotation speed was changed from 10,000rpm to 16,000rpm, the tool feeding speed was changed from 1,300mm/min to 1,700mm/min, the depth of cut was also changed from 0.3mm to 0.9mm, and etc. Cutting component force according to the coating layer number, surface roughness, and the wear of tool were studied.

Key Words: KP-4 (플라스틱 금형강), Cutting Component (절삭분력), Surface Roughness (표면조도)

1. 서론

최근 금형산업 및 첨단산업 분야에서 부품의 고강도화 및 경량화 목적으로 내구성과 내열성이 뛰어난 고경도 재료의 고속가공 필요성이 증가되고 있다. 금형가공에서 고속절삭 가공이 많은 이유는 주축회전수를 증가시킴으로써 높은 절삭속도(Cutting speed)를 얻을 수 있고, 절삭속도 증가에 따라 난삭재를 가공하는데 있어 기존의 이송속도(feed rate)보다 빠른 이송속도로 절삭이 가능하기 때문이다.¹ 고속가공에서 볼 엔드밀은 낮은 전단력에 의한 빠른 이송속도 구현이 가능하고 이에 따른 절삭 능력을 활용하여 높은 표면 정밀도에 의한 부수적인 공정 감축이 가능하다. 또한 절삭 시 생성된 절삭열이 고속으로 칩과 같이 방출되어 냉각 효과와 가공물 변형 방지의 이점을 얻을 수 있기 때문이다.

다른 한편으로 금형산업의 특이점은 제품의 대량 생산을 배경으로 하고 있음에도 불구하고 제작 자임으로 생산을 결정하는 것이 아니라 발주자의 요구에 따라 제작하기 때문에 유통 경로가 단순하고, 동일한 모양의 금형을 반복해서 제작하는 예가 드물며, 현재 요구 납기일이 줄어들고 있는 추세이다. 이러한 상황에서 국내 제조업체들의 동향을 보면 고속가공기술 쪽으로 눈을 뜨고 있고 고속가공기술을 도입하여 제품의 개발부터 납기까지의 사이클 주기를 줄이고자 꾀하는 업체들이 많아지고 있다.^{2,3} 이에 본 연구에서는 물리증착법(Physical Vapor Deposition : PVD)의 이온 플레이팅법(Ion Plating)으로 AlTiN 을 초경 볼 엔드밀에 멀티코팅(1~4 층), 10,000rpm 이상 고속가공기를 사용하여 사출금형산업에서 많이 사용되고 있는 KP-4(HRC 32)소재를 경사진구간(15°, 30°, 45°) 조건에서 상 방향(up-ward), 하 방향(doun-ward)의 절삭

가공을 수행, 멀티코팅 볼 엔드밀의 절삭특성과 가공 데이터를 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 연구에서 절삭실험은 최고 주축회전속도가 20,000rpm 까지 가능한 수직형 머시닝센터(Hwa Cheon Sirius-UL(S), 2008 년 8 월)를 이용하여 실시하였으며, 절삭력 측정은 압전형 공구동력계로 부터의 미세한 전압을 안정적으로 증폭하기 위하여 멀티채널 앰프리파이어(Multichannel Charge Amplifier, 5019b)를 사용하였고, 경사진 재료를 공구동력계에 고정할 수 있도록 본 실험에 앞서 선 가공하여 실험을 하였다. 가공 후 표면 거칠기는 촉침식 조도 측정기(Mitutoyo 사, BRT-S916)를 이용하여 경사진 재료의 중간 부분에서 2 회 측정하여 평균값으로 정하였고, 공구마모량은 공구현미경(Nicon 사, MM-60/L3FA)을 사용하여 측정하였다.

초경 볼 엔드밀 표면에 1~4 층까지 AlTiN 층을 코팅, 표면거칠기를 알아보기 위해 AFM(atomic force microscopy, PSIA, XE-200)장비를 이용하여 코팅된 공구의 표면거칠기 값을 측정하였으며, 자동미소경도시험기(Mitutoyo 사, AAV-502)를 이용하여 코팅 층의 경도 값을 측정하였다.^{4,5} 또한 코팅 층의 단면조직은 전자주사 현미경(SEM)을 이용하여 코팅 층수 따른 단면의 조직을 검사하였고, 실험 장치의 개요도를 Fig. 1 에 나타내었다.

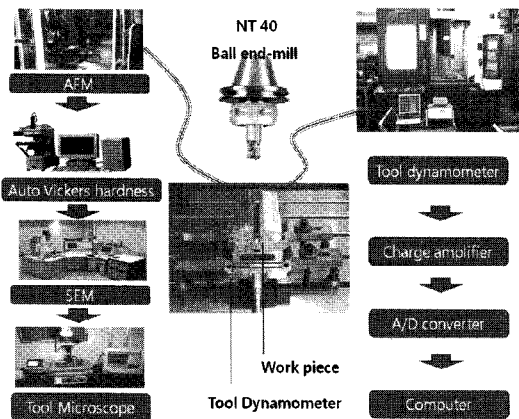


Fig. 1 Schematic diagram of measuring equipment

2.2 시험편

본 연구에서 사용한 시험편은 플라스틱 금형용

강재중 비열처리 강재로 자동차범퍼, OA 기기, 그릴 등 에 사용되는 KP-4 로 선정하였으며 Fig. 3.2 와 같이 경사 각도를 15°, 30°, 45° 로 1 차 머시닝센터에서 가공하여 준비하였으며, Table 1 에 시험편의 기계적 성질을 나타내었으며, 화학성분은 Table 2 에 나타내었다.

Table 1 Mechanical properties of KP-4

Direction	T.S. (kgf/mm ²)	Y.S. (kgf/mm ²)	Elongation (%)	(HRC)
Longitudinal	104	86	23.13	32

Table 2 Chemical compositions of KP4

Elements	C	Si	Mn	Cr	Mo
wt(%)	0.39~ 0.44	0.25~ 0.35	0.9~ 1.1	0.9~ 1.1	0.25~ 0.3

2.3 절삭공구

실험에 사용한 절삭공구는 “kong hwa precision tool”에서 만든 초경(Co 12%, WC+Cr3+C2+VC 88%) Φ 8mm 볼 엔드밀이며, 본 실험에서는 초경 공구에 물리증착법(PVD)중 이온 플레이팅 방법으로 AlTiN 코팅을 1~4 층까지 코팅하여 준비하였으며, Table 3 은 실험에 사용한 초경 볼 엔드밀의 제원을 나타낸다.

Table 3 Specification of ball end mill

Tool	Specification	Ball end mill
	Tool diameter	Φ 8mm
	Tool radius	4mm
	Helix angle	30°
	Length of Cut	14mm
	Overall Length	90mm

2.4 실험방법

실험에 사용한 CAD/CAM 프로그램은 UG(unigraphics)와 더불어 우리나라 금형산업에서 가장 많이 사용하고 있는 “Cimatron” 프로그램으로 이스라엘 CLAL Computers & Technologies 사에서 개발하였으며, Cimatron 프로그램을 사용하여 CAD/ CAM 가공을 위한 3D 모델링 공구의 절삭에 필요한 사항

을 설정하였고, 미국의 Surfare 회사에서 만든 가공 프로그램인 “SurfCam” 프로그램을 이용하여 절삭 실험에 필요한 가공조건 등을 설정하여 “data network” 통해 머시닝센터에 직접 전송하여 절삭가공 실험을 하였다.

가공실험의 절삭조건은 주축회전속도 10,000~16,000rpm, 공구이송속도를 1,300~1,700mm/min, 절삭 깊이를 0.3~0.9mm 의 범위 내에서 조건들을 정하고 절삭 파라메타의 여러 가지 조건들을 동일하게 하고 결국 변화하는 부분은 경사각도와 절삭 방향만의 파라메타를 가지게 되도록 하였다. 또한 실험가공시 재료의 크기를 고려 표면거칠기 측정이 끝난 후 공구동력계에 부착시 기존의 작업조건과 맞추기 위해 ϕ 10mm 볼 엔드밀을 이용 황삭 및 정삭작업을 하여 동일 조건에서 실험이 이루어지도록 하였다.

가공면의 거칠기는 촉침식 표면조도기를 사용하였으며, Cut-off 값은 0.8mm, 이송속도는 0.5mm/s, 측정범위는 20 μ m로 설정하여 측정을 하였으며, 측정거리는 경사진 면의 중앙 부분과 곡면의 중앙부분을 대상으로 측정하였다. 표면 거칠기 값(Ra)은 정확성을 위해 2 번 측정하여 평균값으로 정리하였다. 마모시험은 절삭분력과 표면거칠기 결과가 좋은 가공조건을 선정하여 플랭크마모랑의 폭을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 AITiN 코팅 공구의 표면분석

본 실험에서 공구코팅 표면의 거칠기 측정 장비는 PSIA 사에서 제작한 원자현미경(AFM)으로 시료의 표면의 nm 범위를 측정할 수 있는 장비이며, 실험에서는 시료 표면을 20 \times 20 μ m 스캐닝(Scanning) 하여 코팅 층에 따른 공구의 표면 상태를 관찰·측정하였다.

Fig. 2 는 원자현미경(AFM)으로 AITiN 코팅한 공구의 표면을 20*20 μ m의 스캐닝한 사진이다. Fig. 2 의 (a)와 (d)에서 표면의 홀(hole)이 관측되는데 이와 같은 결과를 보인 이유는 Fig. 2 의 (a)1 층으로 코팅한 경우, 초경공구 표면의 요철로 1 층으로 코팅 하면서 요철부분을 완전히 코팅재료가 채우지 못하고 초경공구 소재의 표면에 요철부가 남아 있어 1 층으로 코팅된 공구에서는 불규칙한 형태의 홀이 관측되는 것으로 사료되며, Fig. 2 의 (b)와 (c)에서는 2 층과 3 층으로 코팅되면서 초경공구의

요철부가 완전히 없어지고 공구의 표면이 양호한 것을 확인할 수 있었으며, Fig. 3 의 (d)의 경우 4 층으로 코팅하면서 화학적 변화의 의한 원형에 가까운 홀이 발견되는 것을 확인할 수 있었다.

초경 볼 엔드밀의 AITiN 코팅의 표면거칠기 값은 AFM 장비에서 RMS 값으로 표시, 웅스트롬(\AA)은 길이의 단위로 1 \AA =0.0001 μ m이다. 코팅 층수에 따른 RMS 값을 μ m 로 환산하여 AITiN 코팅층에 따른 공구의 표면거칠기 결과를 Fig. 3 에 나타내었다.

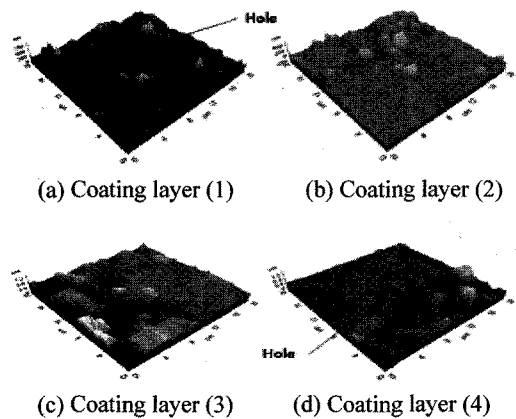


Fig. 2 Surface morphology of AITiN coating layers by AFM (Scanning 20*20)

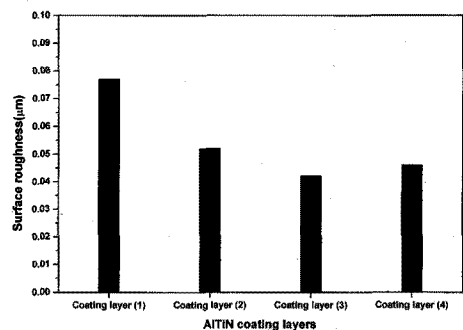


Fig. 3 Surface roughness of AITiN coating layer measured by AFM

3.2 AITiN 코팅층의 경도 분석

자동 미소 경도 시험기를 이용하여 AITiN 층의 경도 값을 알아보았다. 공구의 코팅 층의 깊이를 고려 압흔계측범위 4~40 μ m의 범위를 측정할 수 있는 대물렌즈 50x 조건에서 시험력을 4.904N 으로 설정하여 코팅층의 경도시험을 하였다.

각 층에 따른 AITiN 층의 경도시험 결과 Fig. 4

와 같이 초경공구의 경도 값은 Hv 1872.7 AlTiN 의 1 층 코팅에서는 Hv 2329.4 으로 약 Hv 450 정도의 경도 값의 차이를 보였다. 또한 1 층과 2 층 코팅의 차이는 Hv 480 정도의 차이를 보였으며 2 층과 3 층의 경도의 차는 Hv 213, 3 층과 4 층은 Hv 149.9 정의 경도차 값을 보였다. 코팅층이 올라가면서 경도차가 적어지는 것을 확인할 수 있었으며, AlTiN 코팅 3 층에서 가장 높은 경도 값을 보여 주었다.

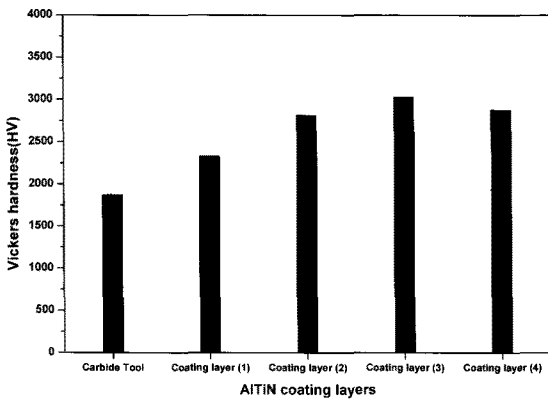


Fig. 4 Hardness Values of AlTiN layer

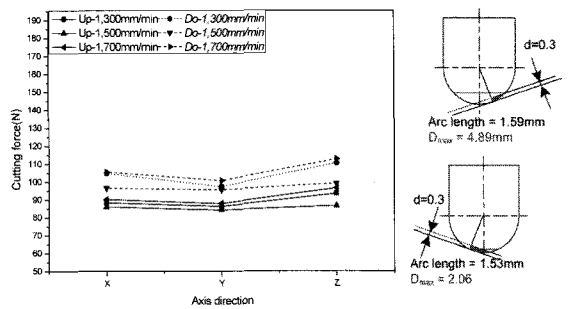
3.3 절삭력 분석

절삭실험결과 재료의 경사각 증가에 따라 Fig. 5 와 같이 절삭분력은 감소하는 경향을 보였으며, 가공 방향성에 따른 3 분력의 크기는 모든 가공조건에서 상 방향보다 하 방향이 높게 나타났다. 이와 같은 결과가 나오는 것은 볼 엔드밀의 기하학적 특징으로 ϕ 8mm 볼 엔드밀로 절삭실험을 하여도 경사각에 따라서 실제 공구가 재료와 접촉하는 공구의 직경이 유동적으로 변하기 때문이다. 경사각이 커질수록 공구의 유효직경이 커지기 때문에 공구가 받는 힘이 적어지며, 하 방향 가공에서는 공구의 유효직경이 작아지면서 공구가 받는 힘이 크기 때문에 상 방향보다 하 방향의 절삭분력이 크게 나타난 것으로 사료된다.

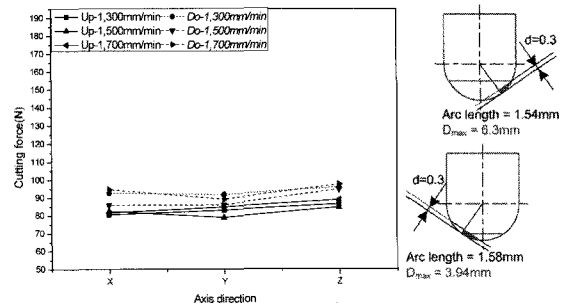
Fig. 5 의(a), (b)와 같이 15°, 30° 경사진 재료 절삭깊이 0.3mm 의 조건의 하 방향(down ward) 에서 Fz 분력 값이 높게 나타나는 이유는 볼 엔드밀의 중심부인 “chisel edged” 접촉으로 인한 중심에서 절삭 선속도가 0 이 되기 때문에 Fz 분력이 Fx, Fy 값 보다 높게 나타난 것으로 사료 된다.

Fig. 5 의(c)와 같이 45° 경사진 재료의 Fx, Fy,

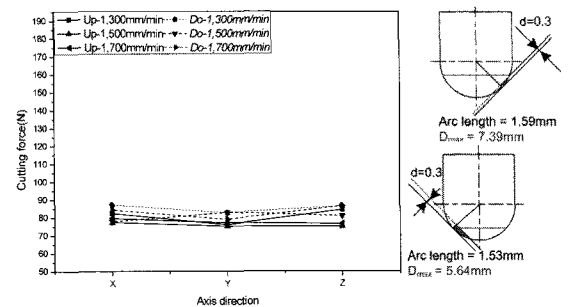
Fz 의 3 분력의 크기는 상 방향, 하 방향의 모든 가공조건 에서 Fy, Fz 분력의 크기보다 Fx 의 분력이 크게 나타났다. Fx 분력이 크게 나타나는 이유는 45° 경사진 재료의 상 방향의 경우 볼 엔드밀의 공구 측면의 공구인선에 의해 가공이 진행되며, 하 방향의 가공조건에서도 “chisel edged” 에서 떨어진 측면 부에서 가공이 시작되어 공구의 중심에서 45° 되는 부분에서 가공이 끝나는 관계로 Fx 분력의 값이 커지는 것으로 사료된다.



(a) inclination of 15° angle (13,000rpm, =0.3mm)



(b) inclination of 30° angle (13,000rpm, d=0.3mm)



(c) inclination of 45° angle (10,000rpm, d=0.3mm)

Fig. 5 Three cutting component forces (Fx, Fy, Fz) with the material of inclination according to AlTiN coating layer

Fig. 6 은 코팅층수에 따른 절삭분력의 차를 알아보고자 경사진 재료중 양호한 절삭력을 보인 45° 경사진 재료 절삭깊이 0.3mm 조건에서 AITiN 코팅 층수에 따른 절삭 3 분력을 나타낸것이다. 상방향 절삭가공에서 AITiN 코팅층(1~4 층)에 따른 Fx 절삭분력은 각각 88.89N, 77.81N, 77.33N, 81.16N, Fy 절삭분력은 각각 87.83N, 81.13N, 75.2N, 79.43N, Fz 절삭분력은 각각 86.98N, 79.5N, 75.02N, 79.07N 으로 나타났다. AITiN 코팅을 3 층으로 코팅한 층에서 가장 양호한 절삭력을 보인 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 절삭가공실험전에 수행한 AITiN 코팅 층에 따른 표면거칠기, 코팅표면 경도

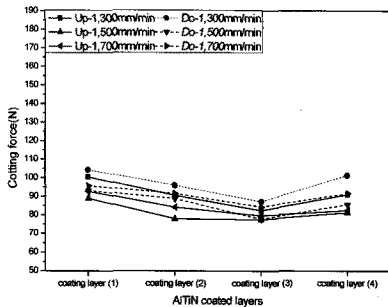
및 코팅 층의 두께 등이 가공실험결과에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 또한 하 방향 가공조건에서도 상 방향과 같은 결과를 보였으며, 이와 같은 현상은 경사진 재료(15°, 30°, 45°) 모든 조건에서 같은 결과를 보여 주었다. 이와 같은 결과를 보았을때 AITiN 코팅 불 엔드밀 공구를 사용한 열처리후 정삭가공시 2~3 층으로 코팅한 공구를 사용한 것이 단층으로 코팅한 공구에 비해 효율적인 가공을 할 수 있을 것으로 사료된다.

3.4 표면거칠기 분석

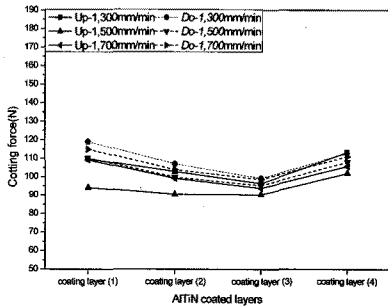
금형가공에 있어 가공정밀도나 표면조도는 사용한 공작기계의 종류에 따라 표면조도의 형태가 달라지며 같은 공작기계를 사용했을 경우에도 기계의 마모, 절삭공구의 조건, 가공표면의 성분, 절삭방법, 작업자의 습관, 환경조건 등에 따라 달라지나 최종적으로는 공구와 가공물과의 상대운동을 거쳐 절삭가공이 이루어지고 그 결과로 가공물의 형상과 면이 이루어진다고 볼 수 있다. 본 실험에서 사용한 표면조도 측정기는 측정식 측정기로 Measuring Range 는 12mm 이고 cut off 0.8mm 이다.

15° 경사진 재료에서는 Fig. 7 의 (a)와 같이 절삭깊이 0.3mm 조건에서 주축회전수 13,000rpm 공구이송속도 1,300mm/min 상 방향 가공에서 가장 양호한 Ra 0.635 μm, 하 방향에서는 Ra 0.742 μm로 약 Ra 0.1 μm 차를 보였다. 층수별로는 1, 2, 3 층은 약 Ra 0.1 μm 차를 보였으며, 3, 4 층은 약 Ra 0.2 μm 정도 거칠기 차를 보였고, 절삭 깊이별로는 0.3mm, 0.6mm 조건에서는 약 Ra 0.2 μm, 0.6mm, 0.9mm 조건은 약 Ra 0.1 μm 차로 깊이가 깊어질수록 차가 줄어들었다. 30° 경사진 재료는 Fig. 7 의 (b)와 같은 주축회전수 13,000rpm, 공구이송속도 1,500mm/min 조건에서 상·하 방향 각각 Ra 0.41 μm, 0.49 μm 측정되었으며, 코팅 층별로는 약 Ra 0.08 μm차로 15° 경사진 재료보다 차가 적어진 것을 확인할 수 있었고, 절삭깊이 0.6mm 조건에서는 층별로 약 Ra 0.1 μm차로 다시 늘어나는 것을 확인할 수 있었다. 이런 결과를 보았을 때 불 엔드밀 가공에 있어 절삭깊이가 표면거칠기 품위에 큰 영향을 미친다고 판단할 수 있을 것이다.

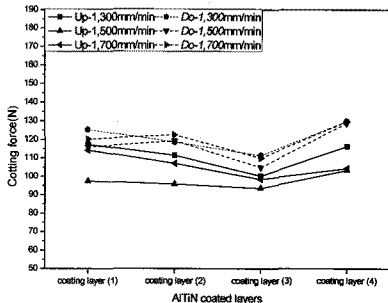
45° 경사진 재료에서는 Fig. 7 의 (c)의 주축회전수 10,000rpm, 공구이송속도 1,500rpm 조건에서 상·하 방향 가장 양호한 각각 Ra 0.36 μm, 0.403 μm기를 보여 경사진 재료 조건 중 가장 좋은 결과를 보였다. 코팅 층수별로는 약 Ra 0.06 μm차를 보였으



(a) Fx component forces of 1,000rpm



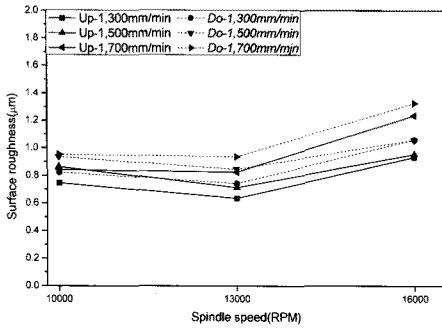
(b) Fy component forces of 1,300rpm



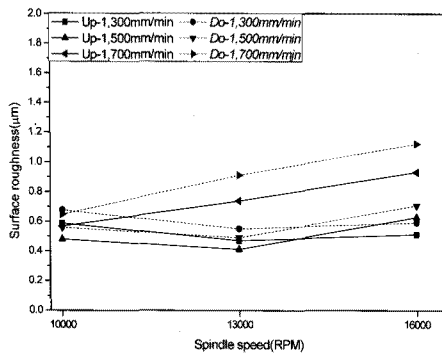
(c) Fz component forces of 1,600rpm

Fig. 6 Fx cutting component forces according to AITiN coating layer (inclined plane 45° d=0.3mm)

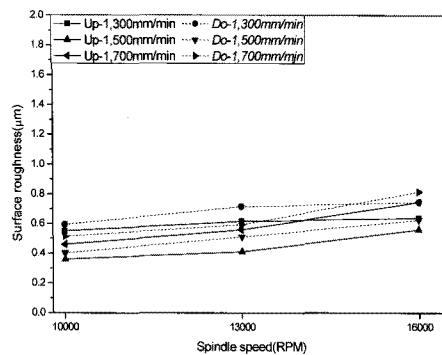
며, 45° 경사진 재료형상에서도 다른 경사진 재료와 같이 절삭깊이와 주축회전수가 증가할수록 거칠기는 크게 나타났다.



(a) inclination of 15° angle (13,000rpm, d=0.3mm)



(b) inclination of 30° angle (13,000rpm, d=0.3mm)



(c) inclination of 45° angle (10,000rpm, d=0.3mm)

Fig. 7 Results of surface roughness between AlTiN coating layer

3.5 AlTiN 코팅공구의 마모특성

금형재료는 내마모성, 내충격성, 내열성이 좋아야 하며 재료 표면경도가 큰 재료가 주류를 이루기 때문에 고속가공의 경우 공구수명이 금형제작 금액에 경제적으로 큰 영향을 차지하므로 금형 고

속가공시 공구수명을 연장시킨 것이 중요하다. 또한 재료의 열처리 전 황삭 가공에서는 공구의 수명이 다하여도 교환하는 데 큰 문제가 발생되지 않지만 열처리 후 정삭가공에서는 가공중 공구의 교환이 불가능하다. 재료의 정삭가공시 공구 교환을 하면 공구마모로 인한 단차가 발생, 제품표면의 정밀도 및 표면이 손상되어 마지막 사상가공인 랩핑(lapping)공정에서 가공시간 지연 또는 치수불량으로 인한 금형 자체를 못 쓰게 되는 경우가 발생하게 된다. 또한 현재 금형가공 산업은 고속가공에서 적은양의 절삭깊이로 빠른 이송속도를 지향하는 관계로 공구수명이 점점 중요해 지고 있다.

일반적으로 코팅공구의 마모과정은 3 가지 상태를 가진다. 초기마모는 코팅층에 영향을 미치며, 두 번째는 절삭거리가 증가함에 따라 안정적인 마모가 진행되고, 코팅층이 마모된 부분에서 부터는 절삭열로 인한 마모속도가 빨라지며, 피삭재와의 화학적 반응으로 낮은 내마모성을 가지기 때문에 이 부분에서 미소한 칩핑이 나타난다. 또한 공구수명은 실제 가공된 제품의 표면 거칠기에 의해서 판단할 수 있지만 공구선단의 마모량 및 상태에 의해 결정하는 것이 일반적이다.⁶

본 실험에서 마멸시험은 경사진 가공에서 절삭분력과 양호한 표면거칠기를 보였던 조건을 선정, 건식가공하여 플랭크마모량 VB가 0.3mm 될 때 까지 가공, 코팅공구의 마모형태와 공구수명 변화를 알아보았다. 공구의 마모량 측정에는 공구현미경을 이용하였고, 측정배율은 대물렌즈 10X, 20X 측정조건시 자기렌즈(Magnetic lens)배율이 각각 229.8X, 461.3X 배 세팅하여 측정 하였다. 플랭크마모량의 측정은 실험조건별로 경사진재료(15°, 30°, 45°) 조건에서는 측정시 Angle Plate 를 이용하여 75°, 60°, 45° 로 공구를 기울여서 상 방향가공시 공구접촉호 중심각도에서 마모량을 측정하였다.

Fig. 8 과 같이 모든 조건에서 가공시간 60 분 이상씩 가공하여도 공구의 플랭크마모량 VB는 0.3mm 을 넘지 않았으며, 가공시간 40 분까지는 공구의 마모속도가 정상적인 마모량을 보였다. 40 분을 경과하면서 재료의 조건에 따라 마모량의 차이를 보였으며, 15° 경사진 재료에서는 가공시간 40 분 이후부터 공구의 마모량이 증가 하여 80 분을 경과하면서 부터는 마모량이 급격히 올라가는 것을 알 수 있다 이 구간부터 공구의 미소칩핑이 발생한 것으로 사료된다. 경사진 재료의 마모조건 중 45° 경사진 재료에서 가장 양호한 결과를 보였

으며, 100 분 이상 가공하여도 정상적인 마모형태를 보였다. 플랭크마모량은 경사진 재료에서 각도가 작을수록 마모량이 크게 나타났다. 이러한 이유는 상 방향 가공을 하더라도 재료의 경사각이 적을수록 재료의 실제 가공 유효직경이 작아지기 때문에 가공속도가 증가로 인한 마찰열이 커지기 때문에 경사각도가 작을수록 플랭크마모량이 커지는 것으로 사료된다.

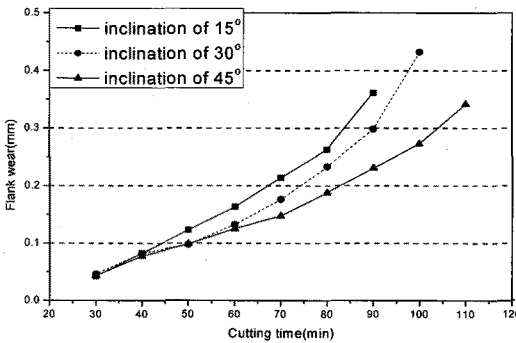


Fig. 8 Results of wear test according to material conditions

Fig. 9는 절삭가공실험중 절삭분력과 재료의 표면거칠기가 양호한 가공 상태를 보였던 45° 경사진 재료를 선정하여 AITiN 을 1~4 층 코팅한 공구를 사용, 초경 블 엔드밀 코팅층수에 따른 공구의 플랭크마모량을 나타낸 것이다. 마모시험은 상 방향(up-ward) 한 방향으로 건식 절삭하여 시간경과에 따른 공구마모량을 측정하였으며, 마모시험 절삭조건은 주축회전수를 10,000rpm, 공구의 이속속도 1,500mm/min, 절삭깊이 0.3mm, Pick feed 0.3mm 설정하여 마모시험에 실시하였다.

모든 조건에서 가공시간 40 분까지 시간의 경과에 따른 정상적인 마모량을 보였으나 40 분을 경과하면서 AITiN 코팅 1 층 공구부터 마모진행 속도 빠르게 진행되어 가공시간 50 분을 넘어서면서 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 코팅 2 층과 3 층은 80 분이 경과할 때까지 양호한 결과를 보였으나, 80 분을 경과하면서 AITiN 코팅을 2 층한 공구의 마모량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. AITiN 코팅을 4 층으로 한 공구에서는 절삭분력과 재료의 표면거칠기에서 코팅을 2 층한 공구와 비슷한 결과를 보였으나, 공구의 마모량에서는 1 층 다음으로 빠르게 마모가 진행되는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 현상은 코팅을 4 층으로 하면서

코팅두께가 18 μm로 두꺼워 지면서 공구표면의 경도의 감소로 절삭가공시 발생되는 마찰열을 견디지 못한 관계로 공구의 마모량이 증가 한 것으로 사료된다.

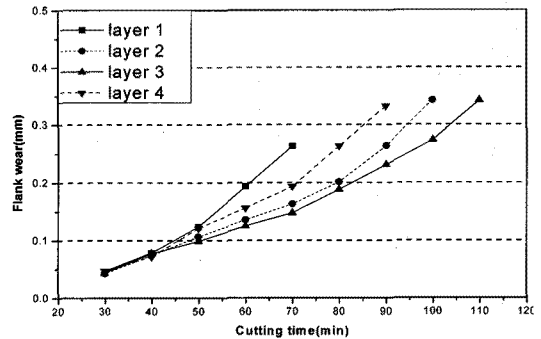


Fig. 9 Results of wear test according to AITiN coated layers

4. 결론

본 연구에서는 Φ 8mm 초경 블 엔드밀에 AITiN 를 1~4 층까지 PVD 방식으로 코팅하여 플라 스틱금형강중 비열처리 재종(KP-4)을 경사진면(15°, 30°, 45°) 주축회전속도 10,000~16,000rpm, 공구이 속속도 1,300~1,700mm/min, 절삭깊이 0.3~0.9mm 등으로 변화를 주어 코팅층수에 따른 절삭분력, 표면거칠기 및 공구마모량 등을 실험적으로 연구하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) AITiN 코팅(1 층~4 층)층의 기계적 성질은 3 층으로 코팅한 조건에서 코팅깊이는 13 μm, 코팅층의 경도 Hv 3027.3, 코팅표면의 표면거칠기 0.042 μm로 가장 좋은 결과를 보였다.

2) 절삭분력은 모든 조건에서 하 방향(Down ward)조건보다 상 방향(Up ward)조건에서 양호하였으며, 재료의 형상별 조건에서는 재료의 각도가 클수록 공구의 유효직경이 커져 절삭분력이 적었고, 원호면의 가공에서는 가공 칩의 배출문제로 인하여 내면보다 외면의 가공에서 절삭분력이 양호하게 나타났다.

3) 표면거칠기는 하 방향보다 상 방향의 가공에서 양호한 조건을 보였으며, AITiN 코팅 3 층의 조건에서 가장 양호한 조건을 보여 주었다.

4) AITiN 코팅 층수에 따른 마모시험은 상 방향(up ward)가공시 모든 코팅층수에서 60 분 이상 가공하여도 VB=0.3mm 에 도달하지 않았으며, 코팅

층수 1 층, 4 층, 2 층, 3 층 순으로 공구의 플랭크마멸은 진행되었고, AlTiN 코팅 3 층 에서는 90 분 이상 가공하여도 $VB=0.3\text{mm}$ 에 도달하지 않았다.

5) AlTiN 코팅 공구에 있어 재료의 형상별 공구의 마모속도는 15° 경사진 재료 30° 경사진 재료, 45° 경사진 재료의 형상 순서로 공구마모가 진행되었다.

6) 플라스틱금형강의 비열처리 강재인 KP-4 의 건식 절삭가공에서 효과적인 AlTiN 코팅 수는 2~3 층으로 코팅하여 사용한 것이 효과적인 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Kim, S. J., "A Study on the Cutting Characteristics of Fillet-End Mill in High Speed Machining of the Surface," Department of Mechanical Engineering, M.S. Thesis, Chonbuk National University, pp. 8-14, 2004.
2. Baek, N. D., "Tool Wear and Surface precision When Up and Down Milling by TiAlN Coated Endmill," Department of Mechanical Engineering, M.S. Thesis, Kyungnam University, pp. 1-3, 2000.
3. Wan, M., Zhang, W. H., Qin, G. H. and Tan, G., "Efficient calibration of instantaneous cutting force coefficients and runout parameters for general end mills," International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 47, No. 11, pp. 1767-1776, 2007.
4. Lee, S. C., Park, J. N. and Cho, G. J., "A Study on the Cutting Characteristics of Plastic Mould Steel using AlTiN Coated Tool," Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Spring Conference, pp. 445-446, 2009.
5. Lee, S. C. and Cho, G. J., "A Study on Wear Characteristics of Plastic Mould Steel using AlTiN Coated Tool," Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Autumn Conference, pp. 541-542, 2009.
6. Kang, S. J., "A Study on the Machining Characteristics in Inclined Plane Machining of Ball End Mill with Considering Economical Factors," Department of Mechanical Engineering, M.S. Thesis, Chosun University, pp. 14-17, 2000.