

AlTiN코팅공구를 사용한 플라스틱금형강의 기계가공성 평가

이승철*, 조규재⁺

(논문접수일 2009. 10. 08, 심사완료일 2009. 12. 01)

Machinability Evaluation of the Plastic Mould Steel using AlTiN Coated Tool

Seung-Chul Lee*, Gyu-Jae Cho⁺

Abstract

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 8mm 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, and surface roughness were studied. The cutting component force showed a good agreement better the up ward direction than the down ward direction under all experimental conditions. In case of the condition per the material shape, it was lessen when the tool have larger angle because the average effective diameter of the tool is larger. The surface roughness showed good condition in case of the up ward than the down ward direction. And, in the 3rd layer of AlTiN coating, it showed the most suitable condition.

Key Words : Cutting component force(절삭분력), Plastic mold steels(플라스틱금형강), Surface roughness(표면거칠기), Ball end mill(볼 엔드밀)

1. 서론

현재의 금형 공업은 대량 생산용 정밀금형과 다종 소량 생산용 금형이 많이 요구되고 수요도 급증하고 있다. 또한 최근 소비자의 요구가 아름답고 부드러운 외형을 선호하는

경향에 따라 고속가공을 통한 볼 노우즈 엔드밀 가공이 중요시 되고 있다.

고속가공은 소재 제거율(MRR)을 크게 향상시킴으로써 생산비용 및 생산시간을 단축시킬 수 있으며, 사출금형 마무리는 보통 볼 노우즈 커터를 사용하여 평행한 공구 궤적으로

* 조선대학교 일반대학원 기계공학과
+ 교신저자, 조선대학교 기계공학과 (kjcho@chosun.ac.kr)
주소: 501-759 광주광역시 동구 서석동 375번지

이루어진다. 고속가공을 통한 이러한 처리는 빠른 절삭이송에서 보다 정확하고 효율적인 가공처리를 통한 절삭시간과의 정출을 없애면서 수작업을 최소화하기 위해 고속가공을 사용한다.

또한 첨단 IT 부품 및 중량을 중요시 하는 우주·항공 산업에서 고속가공(HSM)공정은 얇은 벽을 갖는 제품을 가공할 수 있으므로 가벼운 부품을 만들기 위한 중요한 공정이다.⁽¹⁾

그러나 다른 한편으로 금형산업의 특이점은 제품의 대량 생산을 배경으로 하고 있음에도 불구하고 제작자임으로 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 근래 들어 고속가공기술 쪽으로 눈을 뜨고 있고 고속가공기술을 도입하여 제품의 개발부터 납기까지의 사이클 주기를 줄이고자 피하는 업체들이 많아지고 있으나, 새로운 신기술인 고속 가공 기술을 도입하는데 있어서 접해보지 못했던 사항에 대한 고민으로 선풍 용기를 내지 못하고 있는 것이 현 실정이다. 대부분의 고민 사항들은 초고속 가공에 대한 생소함, 시스템을 도입하였을 때의 효과, 신기술에 대한 적응능력 등이다⁽²⁻⁶⁾

이에 본 연구에서는 물리증착법(PVD)의 이온 플레이팅 방법으로 AlTiN을 멀티코팅(1~4층)한 초경공구와 고속가공기를 사용하여 금형산업에서 많이 사용되고 있는 소재인 KP4(HrC 32) 소재를 경사진구간(15°, 30°, 45°) 조건에서 상 방향(Up-ward), 하 방향(Down-ward)의 절삭가공을 수행, 고속가공에서 멀티코팅 볼 엔드밀의 절삭특성과 가공 기초 데이터를 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 절삭실험은 최고 주축회전속도가 20,000 rpm까지 가능한 수직형 머시닝센터(Hwa Cheon Sirius-UL(S), 2008년 8월)를 이용하여 실시하였으며, Fig. 1에 나타내었다. 절삭력 측정은 압전형 공구동력계(Swiss Kistler, 9257b)로 부터의 미세한 전압을 안정적으로 증폭하기 위하여 멀티채널 앰프라이어(Multichannel Charge Amplifier, 5019b)를 사용하였으며, 경사진 재료를 본 실험에 앞서 선 가공하여 준비하였다.

가공 후 표면 거칠기는 촉침식 조도 측정기(Mitutoyo, BRT-S916)를 이용하여 경사진 재료와, 반원형 재료의 중간 부분에서 2회 측정하여 평균값으로 정하였고, 초경 볼 엔드 밀 표면에 1~4층까지 AlTiN층을 코팅, 표면거칠기를 알아보기 위해 AFM(atomic force microscopy, PSIA, XE-200)



Fig. 1 Experimental setup for measurements of machining

장비를 이용하여 코팅된 공구의 표면거칠기 값을 측정하였으며, 자동미소경도시험기(Mitutoyo, AAV-50 2)를 이용하여 코팅 층의 경도 값을 측정하였다. 또한 코팅 층의 단면 조직은 전자주사 현미경(SEM, Jelo, JSM840-A)을 이용하여 코팅 층수 따른 단면의 조직을 검사하였다.

본 연구에서 사용한 시험편은 플라스틱 금형용 강재중 비열처리 강재로 자동차범퍼, OA기기, 그릴 등에 사용되는 KP-4로 선정하였으며, F경사 각도를 15°, 30°, 45°로 1차 머시닝센터에서 가공하여 준비하였으며, 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 물리증착법중 이온 플레이팅 방법으로 AlTiN 코팅을 1~4층까지 코팅하여 준비하였다.

2.1 실험방법

실험에 사용한 CAD/CAM 프로그램은 UG(unigraphics)와 더불어 우리나라 금형산업에서 가장 많이 사용하고 있는 이스라엘 CLAL Computers & Technologies사에서 개발한, “Cimatron” 프로그램으로 CAD/DAM가공을 위한 3D 모델링 공구의 절삭에 필요한 사항을 설정하였고, 미국의 Surfare회사에서 만든 가공프로그램인 “SurfCam” 프로그램을 이용하여 실험에 필요한 가공조건 등을 설정하여 데이터 네트워크를 통해 머시닝센터에 직접 전송하여 절삭가공 실험을 하였다.

가공실험의 절삭조건은 Table 1과 같이 조건들을 정하고 절삭 파라메타의 여러 가지 조건들을 동일하게 하고 변화하는 부분은 경사각도와 절삭 방향만의 파라메타를 가지게 되도록 하였다. 또한 실험가공시 재료의 크기를 고려 표면거칠

Table 1 Cutting conditions

Plane angle	Depth of cut (mm)	Spindle speed N rpm	Feed rate (mm/min)	
15°	0.3mm	10,000rpm	1,300	Up
				Down
30°	0.6mm	13,000rpm	1,500	Up
45°	0.9mm	16,000rpm		Down
			1,700	Up
				Down

기 측정이 끝난 후 공구동력계에 부착 시 기존의 작업조건과 맞추기 위해 $\phi 10\text{mm}$ 볼 엔드밀을 이용 황삭 및 정삭작업을 하여 동일 조건에서 실험이 이루어지도록 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 AlTiN코팅공구의 표면분석

공구코팅 표면의 거칠기 측정 장비는 PSIA사에서 제작한 원자현미경(AFM)으로 시료의 표면의 nm 범위를 측정할 수 있는 실험장비이다. 실험에서는 시료 표면을 $20 \times 20 \mu\text{m}$ 스케닝 하여 코팅 층에 따른 공구의 표면 상태를 관찰·측정하였다.

Fig. 2와 같이 초경 볼 엔드밀의 AlTiN코팅의 표면 거칠기 값은 AFM장비에서 RMS 값으로 표시 된다. RMS는 파형의 크기를 전력의 관점에서 나타낸 것으로 단위는 옴스트롬(\AA)로 나타나게 된다. 옴스트롬은 길이의 단위로서 $1 \text{\AA} = 0.0001 \mu\text{m}$ 이다. 코팅 층수에 따른 RMS값을 μm 로 환산하여 AlTiN 코팅층에 따른 공구의 표면거칠기 결과

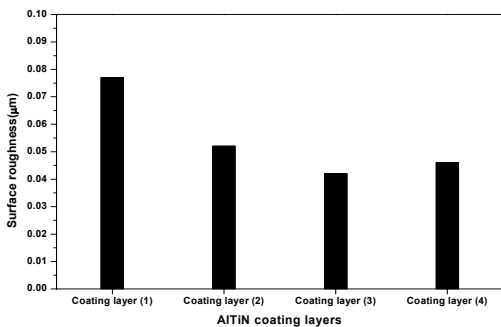


Fig. 2 Surface roughness of AlTiN coating layer measured by AFM

AlTiN코팅을 3층으로 코팅한 공구에서 가장 좋은 결과를 보여주었다.

3.2 AlTiN코팅층의 경도

AlTiN코팅 공구의 코팅 층에 따른 경도 값을 알아보기 위해 부하, 자동터렛, 포커스, 압흔치수 판독 및 측정위치의 이동 등과 같은 일련의 시험프로세스를 전자동으로 실행할 수 있는 Mitutoyo사의 자동 미소 경도 시험기를 이용하여 AlTiN코팅층의 경도 값을 알아보았다. 공구의 코팅 층의 깊이를 고려 압흔계측범위 $4 \sim 40 \mu\text{m}$ 의 범위를 측정 할 수 있는 대물렌즈 50x 조건에서 시험력을 4.904N으로 설정하여 경도시험을 하였다.

AlTiN층의 경도시험 결과 Table 2와 같이 초경공구의 경도 값은 Hv 1872.7 AlTiN의 1층 코팅에서는 Hv 2329.4 으로 약 Hv 450 정도의 경도 값의 차이를 보였다. 또한 1층과 2층 코팅의 차이는 Hv 480 정도의 차이를 보였으며 2층과 3층의 경도의 차는 Hv 213, 3층과 4층은 Hv 149.9 정도의 경도차 값을 보였다. 코팅층이 올라가면서 경도차가 적어지는 것을 확인 할 수 있었으며, AlTiN코팅 3층에서 가장 높은 경도 값을 보여 주었으며 Fig. 3에 나타내었다.

Table 2 Hardness values of AlTiN coating layer

Tool	Vickers hardness(Hv)
Carbide Tool	1872.7
AlTiN 1	2329.4
AlTiN 2	2814.3
AlTiN 3	3027.3
AlTiN 4	2877.4

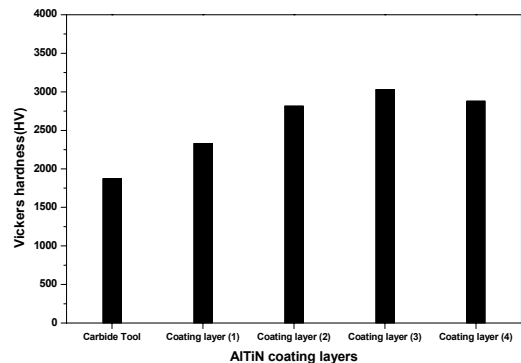


Fig. 3 Hardness Values of AlTiN coating layer

3.3 AlTiN코팅층의 성분

SEM은 Electron beam이 시험편의 표면에 주사하면서 시험편과의 상호작용에 의해 발생된 S.E(Secondary Electron)를 이용해서 시험편을 관찰하는 장비이며, EDX(Energy Dispersive X-ray microanalysis)는 성분의 정량적인 분석이 가능한 장비로 주로 전자현미경(SEM) 등에 같이 부착시켜 사용하는 장비이다. 재료의 표면에 전자현미경의 타겟(Target)에서 발생된 전자(Incident beam)가 충돌하게 되면 재료는 표면에서 그 재료의 특성을 갖는 여러 종류의 전자, 이온 및 특성 X 선 등이 방출된다. 이때 이 중에서 EDX 장치는 방출된 특성 X 선만을 Detecting 하여 beam의 에너지대별로 화면에 표시하게 된다. 이 특성 X 선의에너지의 세기는 물질이 갖는 고유한 값이며, 이 에너지의 값은 사전에 입력되어진 물질들의 특정 값과 대조하여 프로그램 상 최적의 일치하는 물질을 유추해내는 방법으로 재료 성분을 알아낸다.⁽⁷⁾

본 실험에서는 SEM-DEX를 통하여 초경공구의 Fig. 4 과같이 주재료인 텅스텐(W)과 코팅 재료의 성분인 알루미늄(Al), 타이타늄(Ti), 규소(Si), 질소(N)의 성분만을 분석하였다. Fig. 4에서 보이는 바와 같이 초경공구의 재료인 텅스텐(W) 성분은 코팅이 시작하는 부분을 기점으로 적어지는 것을 확인 할 수 있으며, AlTiN코팅의 주성분인 알루미늄(Al)과 타이타늄(Ti)는 초경에는 존재하지 않으나 코팅층을 기점으로 함유량이 상승하는 것을 확인할 수 있다. 규소(Si) 경우는 초경공구에도 많은 양이 포함되어 있으나, 코팅층으로 들어서면서 현저하게 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 AlTiN코팅시 성분 함유량이 Al-58%, Ti-33%, Si+N-9%의 비율로 코팅을 실시하여 규소(Si)의 양이 코팅층에서 낮게 나타난 것으로 판단되고, Fig. 5에 AlTiN코팅층수에 따른 알루미늄(Al)과 타이타늄(Ti)의 SEX-DEX 성분 분결 결과를 나타내었다.

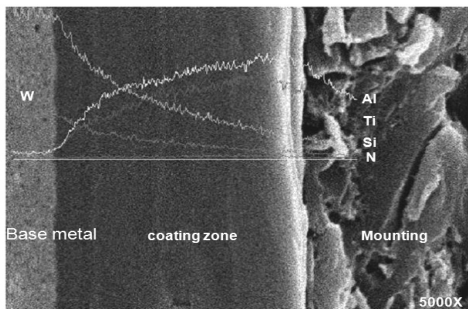


Fig. 4 Quantitative values of the composition of AlTiN coating layer using SEM-EDX

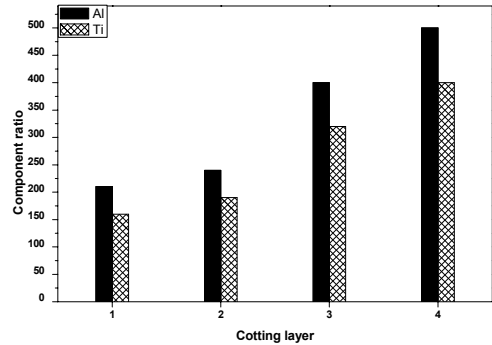


Fig. 5 Composition ratio of Al and Ti of the coating tool

3.4 경사진 재료의 절삭력

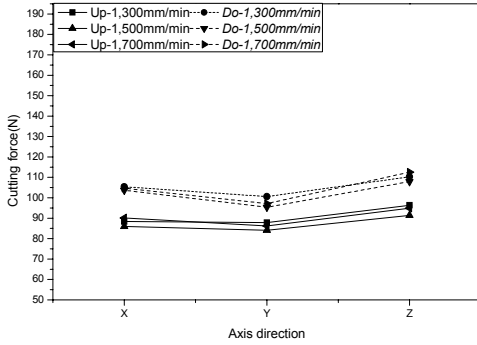
Fx, Fy, Fz 절삭 3분력의 크기는 Fig. 6와 같이 재료의 형상별 모든 조건에서 상 방향 보다 하 방향이 높게 나타났으며, Fx 분력 보다 Fz 분력이 높게 나타났다.

Fig. 6의 (a)와 같이 15°경사진 재료의 가공에서 상 방향과 하 방향에서 절삭분력 차가 크게 나타나는 이유는 절삭깊이 0.3mm, 0.6mm, 0.9mm의 조건에 따른 볼 엔드밀의 공구의 접촉 길이가 각각 1.53mm, 2.19mm, 2.71mm로 상 방향의 가공에 비해 하 방향 모든 조건에서 공구의 접촉호의 길이가 0.06mm더 적으며, 볼 엔드밀의 중심부인 “chisel edged” 접촉으로 인한 중심에서 절삭 선속도가 0 이 되기 때문 상 방향 보다 하 방향에서 절삭분력이 높게 나타나는 것으로 사료되며 이와 같은 현상은 30°, 45° 등 재료의 경사각이 커질수록 상 방향과 하 방향의 절삭력 크기의 범위는 줄어들었다.

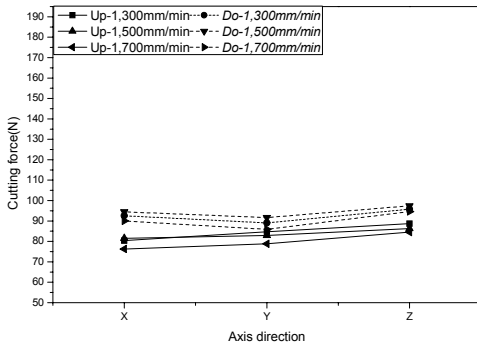
Fig. 6의 (b)의 30° 경사진 재료의 경우 Fx, Fy, Fz의 3분력의 크기는 15° 경사진 재료와 비교해 Fx 분력 값이 높게 나타났으며, 상 방향과 하 방향의 절삭분력의 차가 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 현상은 모든 조건에서 동일하게 나타났으며, 30°경사진 재료의 절삭깊이 0.3mm, 0.6mm, 0.9mm의 조건에 따른 볼 엔드밀의 공구 접촉 길이가 상 방향의 가공에서 1.54mm, 2.2mm, 2.72mm이며 하 방향에서는 1.58mm, 2.24mm, 2.76mm로 상 방향과 하 방향의 공구 접촉호의 길의 차이는 0.04mm이다. 또한 15°경사진 재료의 가공 조건과 비교하면 공구 접촉호의 길이가 상 방향의 경우 30° 경사진 재료의 가공에서 0.05mm 더 작으며, 하 방향에서는 반대로 15° 경사진 재료에 비해 공구 접촉호의 길이가 0.05mm 더 길어져서 발생하는 결과라 사료된다.

Fig. 6의 (c)와 같은 45° 경사진 재료의 가공의 특징은 상 방향, 하 방향의 모든 가공조건 에서 절삭 3분력 차가 적게 나타났으며, 또한 상 방향과 하 방향의 절삭분력의 차도 적게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 이유는 Fx 분력

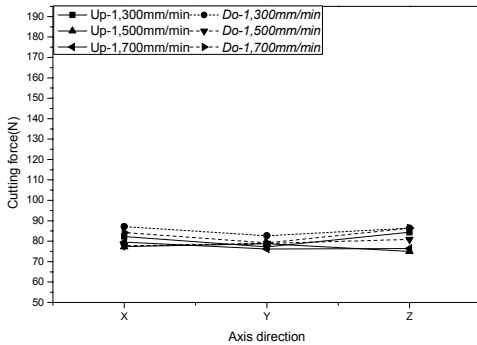
이 45°경사진 재료의 상 방향의 경우 볼 엔드밀의 공구 측면의 공구인선에 의해 가공이 진행되며, 하 방향의 가공조건에서도 “chisel edged”에서 떨어진 측면 부에서 가공이 시작되어 공구의 중심에서 45°되는 부분에서 가공이 끝나는 관계



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

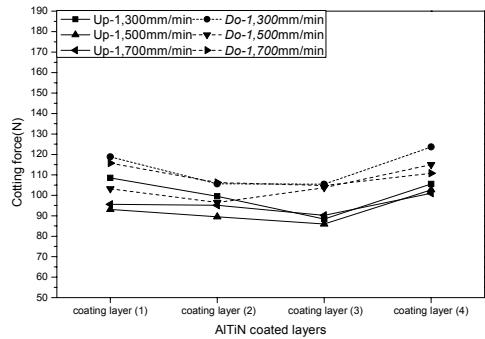


(b) inclination of 30° angle(13,000rpm, d=0.3mm)

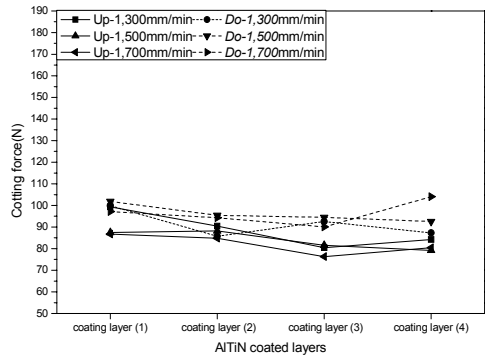


(c) inclination of 45° angle(10,000rpm, d=0.3mm)

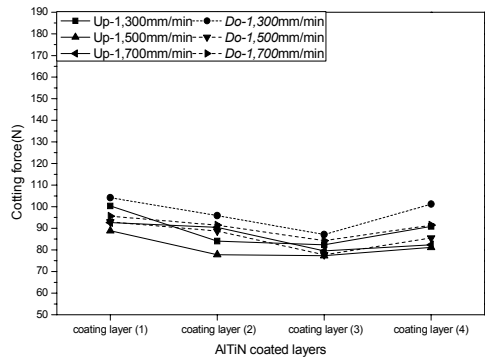
Fig. 6 Three component forces(Fx, Fy, Fz) of cutting with the material of inclination according to AlTiN coating layer



(a) inclination of 15° angle(Fx)



(b) inclination of 30° angle(Fx)



(c) inclination of 45° angle(Fx)

Fig. 7 Fx component forces cutting with the material of inclination according to AlTiN coating layer

로 Fx분력의 값이 크게 발생되어 절삭 3분력(Fx, Fy, Fz) 값의 차가 줄어들 것으로 사료된다.

3.5 AlTiN코팅 층수에 따른 절삭력

Fig. 7과 같이 초경 볼 엔드밀 $\phi 8\text{mm}$ 에 AlTiN코팅 층수에 따른 절삭 3 분력의 값은 AlTiN를 1층~4층한 공구중 3층으로 코팅한 초경 볼 엔드밀에서 절삭 3분력(Fx, Fy, Fz)이 적고 안정적인 값을 보였다. 이와 같은 현상은 경사진 재료(15°, 30°, 45°)의 모든 가공 조건에서 동일한 결과를 보였다. AlTiN를 4층으로 코팅한 초경 볼 엔드밀의 절삭분력은 3층으로 코팅한 볼 엔드밀에 비해 높게 나타났다. 이러한 현상이 나타나는 이유는 코팅표면의 경도 및 공구표면거칠기(AFM) 등의 실험에서 나타난 결과가 절삭가공실험에서 나타난 것으로 판단된다. 45° 경사진 재료의 절삭가공에서 가장 양호한 절삭조건을 보인 조건은 AlTiN코팅 3층 절삭깊이 0.3mm, 주축회전수 10,000, 이송속도 1,500mm/min의 상 방향 조건에서 Fx분력 77.33N, Fy분력 78.77N, Fz분력 75.02 값을 나타냈다. 이와 같은 결과는 15°, 30°조건에서도 3층으로 코팅한 공구에서 가장 양호한 절삭분력 값을 보였다.

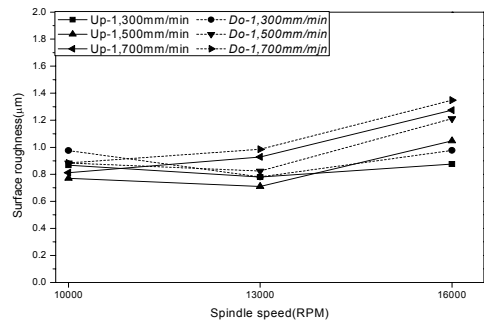
3.6 경사진 재료의 표면거칠기

금형가공에 있어서 가공 정밀도나 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.

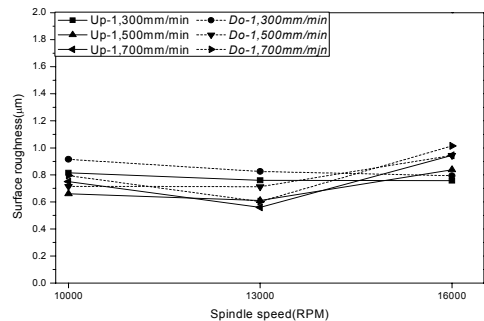
실험에 사용한 가공 소재의 형상이 평면이 아닌 경사진 형태를 가지고 있어 정확한 측정을 위해 조도측정기 석정반 위에 -X, -Y Stage를 설치하고 Stage 위에 각도를 조절할 수 있는 Angle Plate를 설치·고정하여 경사진 형태의 가공물의 표면 거칠기 값을 측정하였으며, 실험에서 사용한 표면조도 측정기는 축침식 측정기로 Measuring Range는 12mm 이고 cut off 0.8mm 이다.

경사진 재료의 표면 거칠기는 절삭 깊이가 증가 하면서 크게 나타났으며, 경사진 재료에서는 경사각도가 클수록 표면거칠기 값은 양호하게 나타났다. 15°경사진 재료에서는 Fig. 8의 (a)의 주축회전수 13,000rpm 공구의 이송속도 1,500mm/min 가장 양호한 Ra 0.66 μm 로 가장 양호하였고, 30°경사진 재료에서는 Fig. 8의 (b)의 주축회전수 13,000

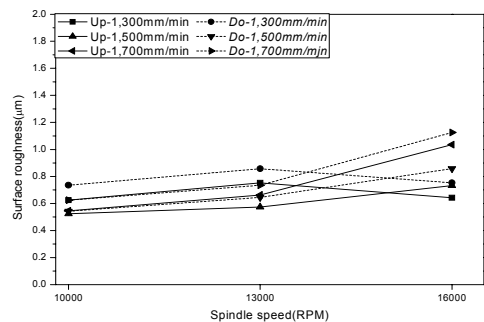
rpm, 공구의 이송속도 1,700mm/min 의 조건에서 Ra 0.56 μm 측정되었으며, 45°경사진 재료에서는 Fig. 8의 (c)의 주축회전수 10,000rpm, 공구의 이송속도 1,500mm/min의 조건에서 가장 양호한 Ra 0.52 μm 의 표면거칠기 값을 보여 주었다.



(a) first coating layer



(b) inclination of 30° angle



(c) third coating layer

Fig. 8 Results of surface layer and the material on 15° angle of inclination according to cutting conditions (d=0.3mm)

4. 결론

본 연구에서는 $\phi 8\text{mm}$ 초경 볼 엔드밀에 1층~4층까지 AlTiN코팅한 공구를 사용하여 플라스틱금형강중 비열처리 재종 KP-4재료를 15°, 30°, 45° 의 경사진면을 가공하여 코팅층수에 따른 절삭분력, 표면거칠기 연구하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) AlTiN코팅(1층~4층)층의 기계적 성질은 3층으로 코팅한 조건에서 코팅층의 경도 Hv 3027.3, 코팅층의 표면거칠기 0.042 μm 로 가장 좋은 결과를 보였다.
- (2) 절삭분력은 하 방향(Down ward)조건보다 상 방향(Up ward)가공 조건에서 양호하였으며, 재료의 형상별 각도가 클수록 공구의 유효직경이 커져 절삭분력이 작게 나타났다.
- (3) 표면거칠기는 하 방향 보다 상 방향의 가공에서 양호한 조건을 보였으며, AlTiN코팅 3층의 조건에서 가장 양호한 조건을 보여 주었다.

참 고 문 헌

- (1) Schuiz, H., 1995, "High speed Milling of Dies and Moulds-Cutting Conditions and Technology," *CIRP*, Vol. 44, No. 1, pp. 35~38
- (2) Baek, N. D., 2000, "Tool Wear and Surface Precision When Up and Down Milling by TiAlN Coated Endmill," M.S. Thesis, Kyungnam University, Republic of Korea, pp. 1~15.
- (3) Kim, S. J., 2004, "A Study on the Cutting Characteristics of Fillet-End Mill in High Speed Machining of the Surface," M.S. Thesis, Chonbuk National University, Republic of Korea, pp. 8~14.
- (4) Dewes, R. C., ENg, K. S., chua, P. G., Newton, D. K. Aspinwall, 1999, "Temperature measurement when high speed machining hardened mould/die steel," *Journal of Materials Preceeding Technology 92-93*, pp. 293~201.
- (5) Choi, J. G., Yang, M. Y., and Youn, J. W., 2001, "A Study on the Characteristic of Machined Surface by High Speed Ball End Milling," *KSMTE*, Vol. 10, No. 6, pp. 126~134.
- (6) Kim, B. H., 2001, "Precision Machining Characteristics in Ball-end Milling of Sculptured Surfaces," *KSMTE*, Vol. 10, No. 1, pp. 78~87.
- (7) Ko, P. J., 2005, "Analysis of Temperature Effects on Slurry for Oxide CMP Characteristics Improvement," M.S. Thesis, Chosun University, Republic of Korea, pp. 42~45.