초정밀 플라이커팅의 가공 메카니즘

***황연[1], 박순섭, 이호재, 이기용**
[1] 한국생산기술연구원

Mechanism of Ultra Precision Fly-cutting

*Yeon Hwang[1], Soon-sub Park, Ho-jae Lee, Ki-young Lee
[1] Micro mold and die team, Korea institute of industrial Technology(KITECH)

Key words : Ultra precision, Fly cutting, Feed direction

1. 서론

고품질 고정도의 부품재료 및 소형 부품산업, 특히 정밀 광학 분야의 요구에 따라 초정밀 가공의 적용영역이 확되 되어 가고 있다. 기존의 일반적인 축대칭 비구면용의 금형제작에서 반복적인 패턴을 요구하는 홀로그램용 광학계나 초정밀 비대칭 자유곡면형상을 요구하는 F-theta 광학계, 불연속적인 초정밀 가공면의 회절소자 광학계(Diffractive optical element)등 연삭 및 절삭에 집중되었던 기존의 초정밀 가공의 영역을 새로운 방식에의 확대를 요구받고 있다.[1] 이러한 요구에 대한 대안의 하나가 초정밀 플라이커팅이다. 실제 산업현장에서 일정 정도 응용되고 있는 플라이커팅은 현장 작업자의 경험에 많은 부분을 의지하고 있으며, 가공 메카니즘에 대한 체계적인 연구가 충분치 않은 상황이다.

본 연구에서는 플라이커팅의 가공 메커니즘에 대한 연구로서 가공에 관여되는 공구 및 스핀들의 반경과 회전수, 이송속도, 이송방향과 공구회전방향의 영향 등 기본적인 변수로부터 가공 메커니즘에 대한 연구를 수행하였다.

2. 가공변수

본 실험은 Fig.1 에서와 같이 XYZB 축의 제어가 가능한 초정밀 가공기를 통하여 수행되었다. 일반적인 경우 B 축제어가 되지 않아 툴 스핀들과 가공물이 90° 를 이루는 경우가 일반적이나 공구와 공작물의 간섭을 최소화하고 형상에 따라 B 축 제어를 통한 가공이 가능하도록 공구와 공작물의 각도를 $\beta = 45^\circ$ 로 설정하고 실험을 수행하였다. 공구로는 플라이커팅용 다이아몬드 바이트를 사용하여, 알루미늄 테스트 시편의 가공을 통해 표면조도와 가공칩의 생성 관점에서 분석하였다.

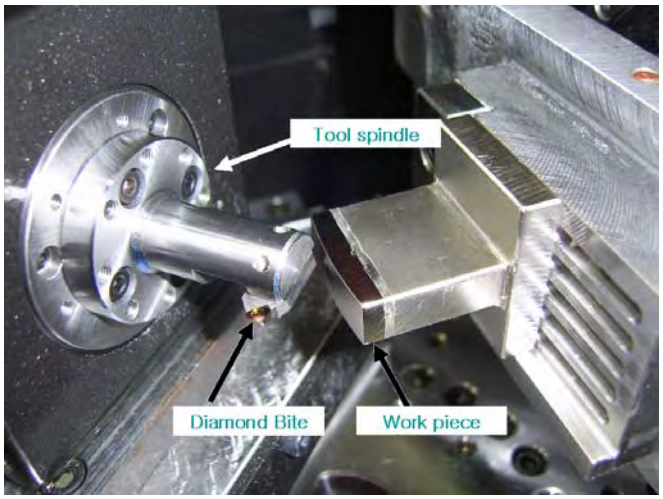


Fig. 1 Setup for fly cutting(diamond bite and Al work piece) with 45° between tool spindle and work piece

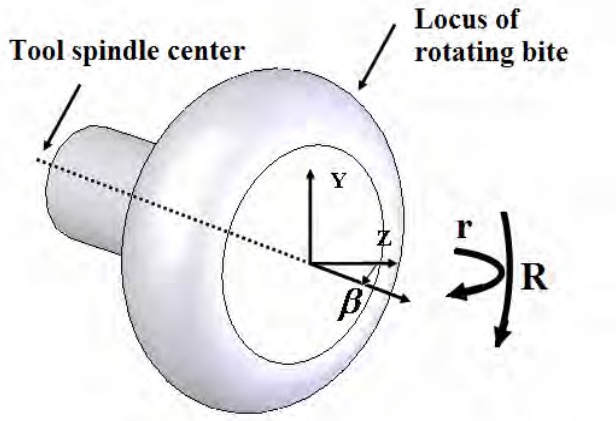


Fig. 2 Radius of rotating bites (R and r)

실제 가공과정에서 반경 r 의 다이아몬드 바이트는 회전반경 R 에 대하여 Fig.2 와 같이 궤적을 그리게 된다. 특히 본 실험에서와 같이 공구 회전중심과 Z 축 방향이 일정한 각도를 이루는 경우는 토러스(torus) 모양의 공구궤적을 상정하게 된다.

공구의 궤적은 토러스면의 식에 대하여 B 축(Y 축)중심에 대하여 β 만큼 회전된 식으로 Eq(1)과 같이 표시된다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (r\cos\alpha + R)\cos\gamma \\ (r\cos\alpha + R)\sin\gamma \\ r\sin\gamma \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 α , γ 는 토러스를 나타내기 위한 각도의 매개변수 이다. 공구의 궤적에 관한 식은 가공메카니즘의 칩생성 및 응력 분포을 분석하기 위한 기본식으로 이용될수 있다.

실제 가공과정에서는 공구의 회전수(rpm), 이송속도(feed), 가공간격(pick feed) 등을 변수로 Eq(2)와 같이 나타나며 이를 근거로 본 연구에서는 이송방향에 따른 가공면의 거칠기에 대한 연구를 수행하였다.

$$R_{pv} = R\left(1 - \cos\left(\sin^{-1}\left(\frac{f/2}{R}\right)\right)\right) \approx \frac{f^2}{8R} \quad (2)$$

Eq(2)에서 공구회전 반경 R 은 공구 반경 r 로 표현될 수 있으며 이 경우 공구 이송속도에 관한 변수 F 는 공구의 가공간격(Pick feed)로 표현될수 있다.

3. 실험조건

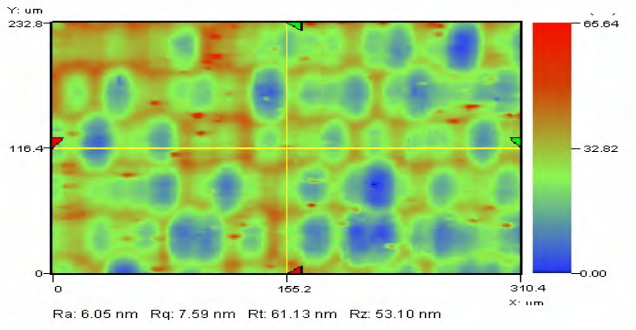
이상의 변수를 이용하여 Al 에 대한 가공을 수행하고 툴마크(Tool mark)와 가공칩(chip)의 발생을 중심으로 가공 메커니즘을 분석하고, 가공면의 표면조도를 측정하였다.

우선 이송방향에 따른 가공면의 표면조도를 측정하기 위하여 Eq(2)로부터 동일한 가공면의 표면조도에 관한 이송속도와 가공간격을 취하여 Table 1 의 조건으로 가공을 수행하였다.

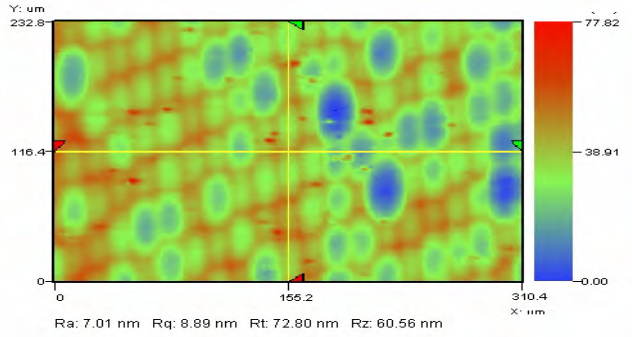
Table 1 Machining conditions

	X feed	Y feed
Feed(mm/min)	176	500
Pick feed(um)	44	16
rpm(rev/min)	12280	
Depth of cut(um)	5	

4. 결과 분석



a. X directional feed



b. Y directional feed

Fig. 3 Surface roughness

Fig.3 은 비접촉식 측정기를 통한 표면조도 측정 데이터로 각각 X,Y 축 방향으로 이송방향을 변화 시키고 Eq(2)를 근거로 동일한 표면조도가 나타날 수 있도록 Table1 을 설정하여 가공을 수행한 결과이다. 예상 표면조도는 8nm 로 하였으나 Table2 와 같이 나타남을 확인할수 있었다.

Table 2 Surface roughness (Ra, nm)

	X feed	Y feed
Rotating radius R	4.8	4.2
Tool radius r	6.6	3.8

실험의 결과는 이송방향의 표면조도가 가공간격방향보다 좋고, 회전방향(회전반경 R 의 방향)이송이 회전수직 이송보다 좋은 표면조도를 보임을 확인할수 있다.

이러한 결과는 보통 수직(Y 축) 방향 이송 안정성이 수평(X 축) 방향 이송안정성에 비해 좋지 않은 가공기의 특성을 고려할 때 고무할 만한 결과이다.

Fig.4 는 비교적 재료의 불순물등의 영향이 적은 구간에서의 표면조도 값으로 회전방향으로 이송이 이루어진 가공면을 이송방향으로 측정한 값이다.

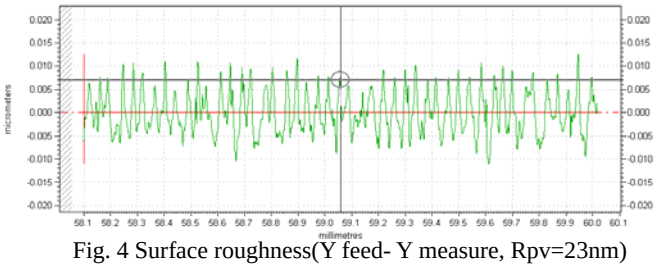


Fig. 4 Surface roughness(Y feed- Y measure, Rpv=23nm)

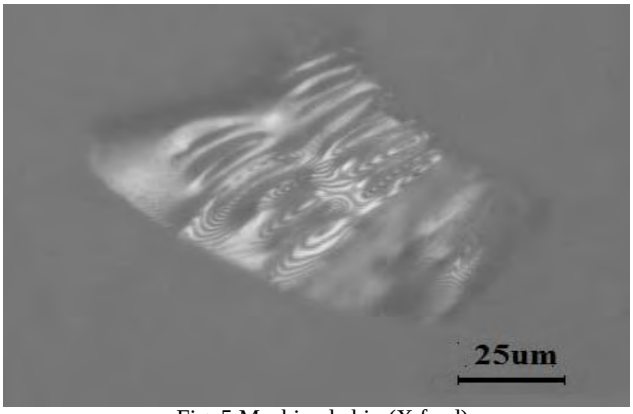


Fig. 5 Machined chip (X feed)

Fig.5 는 가공 과정중 발생한 칩으로 전술한 공구의 궤적의 이송에 따라 부채꼴 형태의 주름면이 존재함을 확인할수 있었다.[2]

4. 결론

초정밀 플라이커팅에 대한 메카니즘 연구로서 이송방향과 표면조도의 관계와 가공칩의 형상에 대한 실험을 통하여 표면조도는 다음과 같은 관계가 있음을 확인하였다.

1. 회전방향 가공이송이 회전수직방향 가공이송에 비해 양호한 표면조도를 보인다.
2. 이송방향이 이송수직방향 보다 양호한 표면조도를 보인다.
3. B 축 방향의 경사축 가공은 부채꼴 모양의 칩을 발생시키며 이는 undeformed chip thickness 의 영향에 의해 변형이 발생한다.

참고문헌

1. J. Yan, K. Maekawa, J. Tamaki and T. Kuriyagawa, “Micro grooving on single-crystal germanium for infrared Fresnel lenses”, Journal of Micromechanics and Microengineering, 15 (2005) 1925-1931.
2. X. Sun, D.J. Stephenson, O. Ohnishi and A. Baldwin, “An investigation into parallel and cross grinding of BK7 glass”, Precision Engineering, Volume 30, Issue 2, April 2006, Pages 145-153