공구회전에 따른 공구 수평위치 오차 분석 및 금형가공

Analysis of the tool setting error along horizontal direction by tool rotation

*김한희[1], #제태진[1], 최환진[1], 전은채[1], 최두선[1], 김창의[1], 이규민[1], 민지홍[2], 김영일[2]
*H. H. Kim[1], #J. T. Je(jtj@kimm.re.kr)[1], H. J. Choi[1], E.c.Jeon[1], D.S.Choi[1], C.E.Kim[1], K.M.Lee[1]
[1]한국기계연구원 나노공정연구실, [2](주)엘엠에스

Key words : Tool rotation, Tool setting error, Variable angle prism,

1. 서론

최근 효율 향상 및 복합 기능성 제품 개발을 위해 광학 및 디스플레이 분야에서 프리즘 패턴의 각도가변에 관한 연구가 이루어지고 있다. 다이아몬드 공구를 이용한 일반적인 프리즘 패턴가공에서는 공구의 수평위치 오차가 절삭오차에 영향을 미치지 않는다. 그러나 각도가변을 위한 공구 회전에서는 공구의 수평위치 오차에 의해 절삭오차가 발생한다. 본 연구에서는 기계적인 방법을 통한 각도가변 프리즘 패턴 가공을 위해 공구 수평위치 오차가 가공 정밀도에 미치는 영향을 분석하고 이를 기반으로 각도가변 프리즘 패턴 금형 가공에 적용하고자 하였다.

2. 공구 수평위치 오차에 따른 절삭오차

공구는 기계적인 방법이 아닌 수동으로 장착되기 때문에 가공기의 회전축과 일치하게 세팅하는 것이 어렵고 Fig. 1과 같이 수평위치 오차가 발생한다. 이에 따라 공구 수평위치 오차를 고려한 Fig. 2와 같이 형태의 해석을 제안하였다.

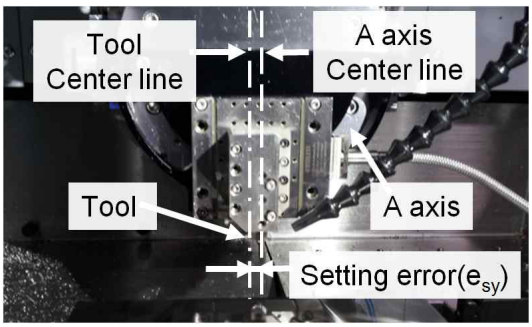

Fig. 1 Setting error followed by tool setting

공구 세팅에서 수평방향으로 발생하는 오차(e_{sy})를 적용하여 절삭오차를 분석하였다. 절삭오차는 공구회전에 따른 기하학적인 관계항과 공구세팅 오차 보정항으로 나누어진다. 공구회전에 따른 기하학적인 관계항은 공구 회전반경(r)에 의해 정해지는 성분이며 공구세팅 오차 보정항은 공구 수평방향 오차(e_{sy})에 의해 정해지는 성분이다. 절삭깊이 오차($e_{total,z}$)와 절삭피치 오차($e_{total,y}$)를 공구회전에 따른 기하학적인 관계항과 공구세팅 오차 보정항으로 표현하면 식 (1)과 (2)로 나타낼 수 있다.

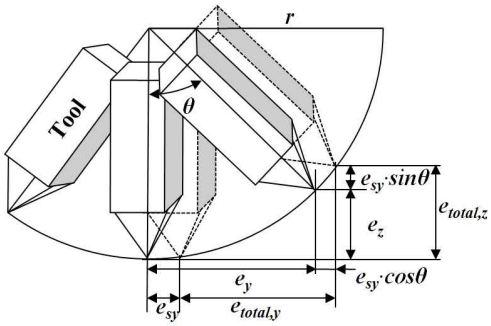

Fig. 2 Cutting depth error and cutting pitch error after considering tool rotation and tool setting error

$$e_{total,z} = (1-\cos\theta) \cdot r + \sin\theta \cdot e_{sy} \quad (1)$$
$$e_{total,y} = \sin\theta \cdot r + (\cos\theta - 1) \cdot e_{sy} \quad (2)$$

3. 절삭오차 보정 방법 및 각도가변 프리즘 패턴 금형가공

절삭오차는 공구 회전에 따른 절삭깊이 오차 측정, 절삭깊이 오차를 이용한 r값과 e_{sy}값 계산, 마지막으로 계산된 r값과 e_{sy}값을 이용하여 절삭오차를 계산하는 순서로 구할 수 있다.

공구 회전에 따른 절삭깊이 오차 측정 방법은 공구 회전이 0°인 경우를 기준으로 공구를 일정 각도(θ)로 회전할 때 공구가 Z 방향으로 이동된 거리를 절삭력 측정기를 통해 구한다. Table 1은 5°간격으로 회전하면서 25°까지의 절삭깊이오차 측정값을 나타낸 것이다.

측정된 절삭깊이 오차를 이용하여 식 (1)을 풀면 2개의 절삭깊이 오차 값을 이용해 r값과 e_{sy}값을 구할 수 있으며 신뢰도를 높이기 위해서 여러 각도에 대한 r값과 e_{sy}값을 구하는 것이 필요하다. Table 2는 각각의 각도에 따라 계산된 r값과 esy값을 나타낸 것이다. 공구 반경은 최대 88㎛의 오차를 나타냈으며 공구 세팅오차는 9㎛의 오차를 나타냈다. 측정된 반경은 평균 120.555㎜를 나타냈으며 공구 세팅에 의해서 발생한 오차는 -0.178㎜를 나타냈다. 이 값들을 이용하여 다음 일정깊이 절삭실험을 수행하였다.

Table 1 $e_{total,z}$ at each rotation angle

Rotation angle(°)	$e_{total,z}$(㎜)
0	0
5	0.4434
10	1.8005
15	4.0616
20	7.2098
25	11.2204

Table 2 Calculated r and e_{sy} at each rotation angle

angle 1(°)	angle 2(°)	r(㎜)	e_{sy}(㎜)
5	10	120.499	-0.173
5	15	120.527	-0.174
5	20	120.547	-0.175
5	25	120.551	-0.175
10	15	120.554	-0.178
10	20	120.571	-0.179
10	25	120.568	-0.179
15	20	120.588	-0.182
15	25	120.575	-0.181
20	25	120.563	-0.178
Average		120.554	-0.178

앞서 구해진 r값과 e_{sy}값을 토대로 일정 절삭깊이 가공실험을 수행하였다. 실험 방법은 Table 3과 같이 절삭깊이는 20 ㎛, 프리즘 패턴은 2° 각도로 변화를 주어 -8 ~ +8° 범위로 절삭오차 없이 각도가 변이 이루어지는지를 확인하였다.

Fig. 3은 각도가변 프리즘 패턴의 가공형상을 확인하기 위해 SEM과 광학현미경을 통해 가공상태를 나타낸 것이다. 공구회전이 좌우측에서 -8, +8°로 각도가변이 이루어졌으며 절삭깊이는 일정하게 20㎛로 가공된 형상을 확인 할 수 있었다.

Table 3 Condition of variable angle prism pattern

Workpiece	Ni plated mold
Tool feed rate	10,000 mm/min
θ rotation	-8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8
Depth of cut	20 ㎛

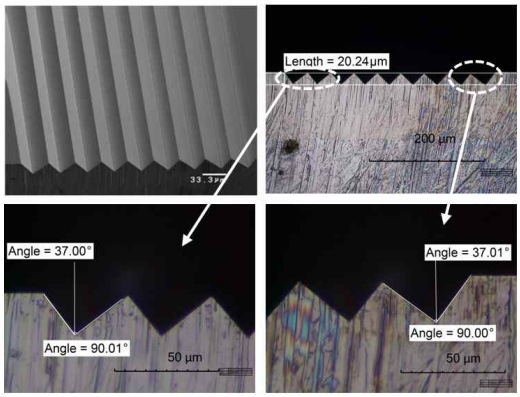

Fig. 3 Variable angle prism patterns (angle displacement -8～+8°, 2° interval)

4. 결론

공구 수평방향 위치 오차는 각도가변 프리즘 패턴 가공에서 절삭오차를 발생시키며 보정값을 필요로 한다. 절삭오차를 보정하기 위해서는 절삭깊이오차 측정을 통해서 계산되는 공구회전 반경과 공구수평 오차를 구해야 한다. 보정값을 통해 -8 ~ +8로 가변되는 각도가변 프리즘 패턴 가공실험을 수행했으며 절삭오차가 없는 가공을 할 수 있었다.

후기

본 연구는 지식경제부 전략기획사업 “기능성 초정밀 핵심 요소부품 제조 초정밀 금형 기반기술 개발” 연구 결과입니다.

참고문헌

1. 주성신, “무안경 3DTV의 개발 현황 및 향후 전망,” TTA Journal, 140, 55-59, 2012.
2. 문대규, “3D 디스플레이 기술 동향 및 전망,” Issue REPORT, 7, 31-46, 2011.
3. Choi H. J., Park E. S., Lee J. R., Jeon E. c., Choi D. S., Je T. J., Kim Y. I., "Analysis on machining characteristcs of asymmetric prism patterns for LGP mold," KSTP, 85-87, 2011.