미세 사각 채널가공에서 공구형상에 따른 가공 특성 분석

The Analysis of Machining Characteristics for Micro Channel based on Tool Configurations

*김병두[1], 김재구[1], 유영은[1], 최두선[1], #제태진[1],
*B. D. Kim[1], J. G. Kim[1], Y. Y. Yoo[1], D. S. Choi[1], #T. J. Je(jtj@kimm.re.kr)[1]
[1]한국기계연구원 나노융합기계연구본부

Key words : Micro channel, Shaping process, Machining surface, Cutting force, Chip formation

1. 서론

디스플레이용 협 시야각 보안필름, PDP의 전자파 차폐용 필터, 광도파로 등의 제품에는 수십 마이크로 폭의 고종횡비 구조물이 사용되고 있다. 수십 마이크로 폭의 고종횡비 채널 가공을 하려면 수십 마이크로의 고종횡비 공구가 있어야 되는데 공구의 가공 특성을 모르면 최적의 미세 채널 패턴을 가공하기 어렵다. 이러한 문제 해결을 위해서는 고종횡비 마이크로 공구의 가공특성을 파악 하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 공구폭 및 공구각이 각각 다른 120μm, 80μm, 60μm의 3가지 미세 사각공구를 사용하여 절삭 깊이, 절삭 면적에 따른 미세 채널가공 실험을 수행하여 공구에 따른 가공특성을 비교, 분석하고자 하였다.

2. 미세 사각 채널 패턴 가공

2.1 미세 사각 채널 패턴과 절삭력 관계

Fig. 1은 미세 사각 채널 패턴의 단면도이다. H는 채널 깊이(μm), W는 채널의 밑변 길이(μm), Θ는 채널 형상각(°)이다. 이러한 미세 사각 채널 패턴을 가공할 때 공구에 작용하는 절삭력(Fc)은 식(1)과 같이 나타 낼 수 있다. 절삭력은 실험적으로 얻어지는 비절삭에너지에 비례하고, 절삭되는 절삭단면적에 비례한다.

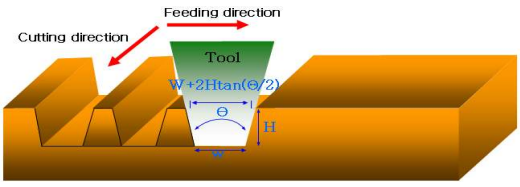


Fig. 1 Schematic of micro rectangular channel pattern

$$F_c = KA \quad (1)$$

Fc : 절삭력 (N)
K : 비절삭에너지 (N/μm²)
A : 절삭단면적 (μm²)

절삭단면적 A는 식(2)와 같이 정리된다.

$$A = H \times \frac{w + \left\{ w + 2dtan\left(\frac{\theta}{2}\right) \right\}}{2} \quad (2)$$

2.2 실험 장치 구성 및 가공 방법

본 연구에서는 미세 사각 채널 가공 실험을 위하여 Fig. 2와 같이 실험 장치를 구성하였다. 시스템은 X-Y-Z 기본 3축으로 구성이 되고 X-Y축은 분해능 5nm, Z축은 40nm의 분해능을 가지고 있다. Z축의 공구대에 공구 동력계(Dynamometer)를 장착하여 X, Y, Z 3축의 절삭 분력을 실시간으로 모니터링하여 가공 상태 및 공구상태를 분석 할 수 있도록 하였다.

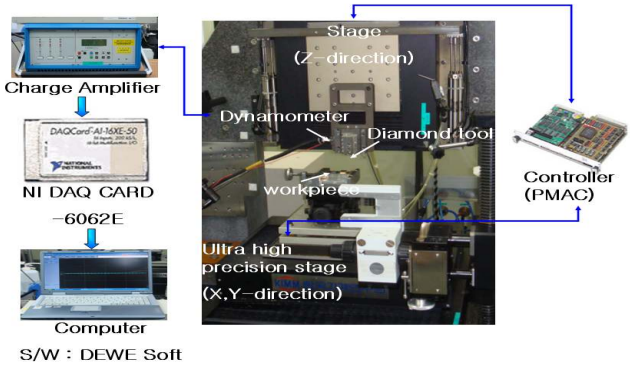
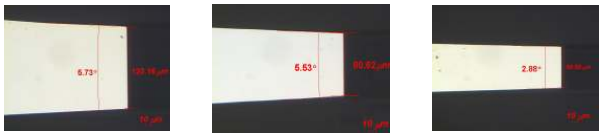


Fig. 2 Schematic of experimental set up

Fig. 3은 본 실험을 위하여 제작된 천연 다이아몬드 공구의 형상을 나타낸 것이다. Fig. 3(a)는 공구폭 120um, 형상각이 5.72° 이고, Fig. 3(b)는 공구폭 80um, 형상각이 5.5° 공구이고 Fig. 3(c)는 공구폭 60um, 형상각이 2.86° 공구이다. 각 공구는 경사각 0°, 여유각 3°, 측면여유각 1° 이고 형상 정밀도 및 치수정밀도는 1μm이하이다.



(a)width= 120μm, angle= 5.72°　(b) width= 80μm, angle= 5.5°　(c) width= 60μm, angle= 2.86°

Fig. 3 Manufactured Tools for experiments

Table 1은 실험의 기본 조건을 나타낸 것이다. Table 2는 공구폭에 따른 특성을 분석하기 위한 가공조건으로써, 절삭 면적을 동일하게 설정하기 위하여 절삭 깊이를 조정하였다. Table 3은 공구각에 따른 특성을 분석하기 위한 가공조건으로써, 절삭 깊이를 동일하게 설정하였다.

Table 1 Basic experimental condition

Cutting tool	single crystal diamond
Cutting Method	orthogonal cutting
Workpiece	6 :4 brass (15 x 15mm²)
Cutting speed	1,200 mm/min
oil	mist No.9

Table 2 Experimental condition of tool width

Cutting tool	Cutting depth (μm)		
(a) width= 80μm, angle=5.5°	7.5	15	22.5
(b) width= 120μm, angle=5.72°	5	10	15
절삭단면적(mm²)	0.6	1.21	1.82

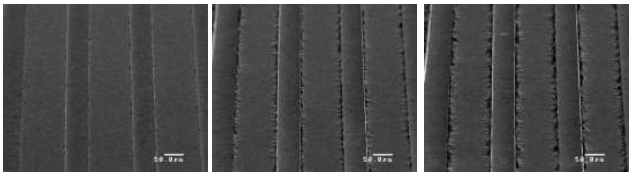
Table 3 Experimental condition of tool angle

Cutting tool	Cutting depth (μm)		
(a) width= 60μm, angle= 2.86°	10	20	30
(b) width= 80μm, angle= 5.5°	10	20	30

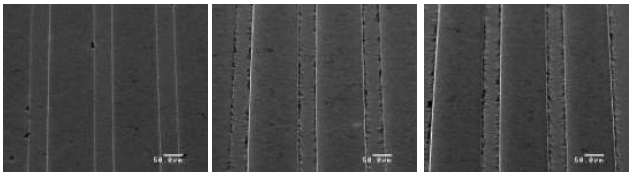
3. 실험 결과 및 고찰

3.1 가공면 분석

Fig. 4는 Table 2에 나타낸 공구각이 비슷한 두 가지 공구로 절삭 면적을 동일하게 하여 가공한 결과이다. 절삭 면적이 증가함에 따라 가공면의 버 발생도 함께 증가함을 보여준다. 폭이 좁은 공구로 가공 시 절삭 면적이 증가함에 따라 버 생성이 급격히 증가한다. 폭이 넓은 공구로 가공 시 보다 상대적으로 절삭 깊이가 깊어져서 버 발생이 많다는 것을 알 수 있고, 이것은 공구폭이 넓은 공구로 가공 시 상대적으로 절삭 깊이가 적어서 버 발생이 적었다는 것을 보여준다.



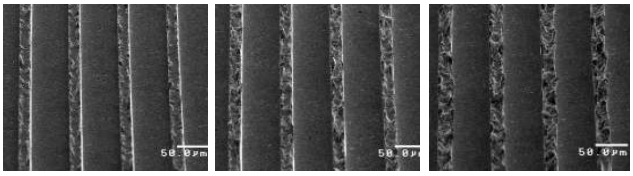
(a) cutting area 0.6mm² (b) cutting area 1.21mm² (c) cutting area 1.82mm²
(tool width= 80μm, angle= 5.5°)



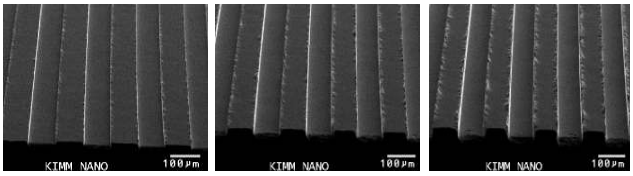
(d) cutting area 0.6mm² (e) cutting area 1.21mm² (f) cutting area 1.82mm²
(tool width= 120μm, angle= 5.72°)

Fig. 4 Comparison of machining surface with tool width

Fig. 5는 Table 3에 나타낸 공구각이 다르고 비슷한 폭을 가진 두 공구를 사용하여 동일한 절삭 깊이로 가공한 것을 결과이다. 공구각이 작은 공구에서 절삭 깊이가 증가 할수록 공구각이 큰 공구를 사용했을 때 보다 더 많은 버가 발생되었다.



(a) cutting depth= 10μm (b) cutting depth= 20μm (c) cutting depth= 30μm
(tool width= 60μm, angle = 2.86°)

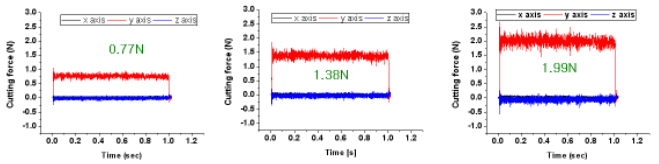


(d) cutting depth= 10μm (e) cutting depth= 20μm (f) cutting depth= 30μm
(tool width= 80μm, angle = 5.5°)

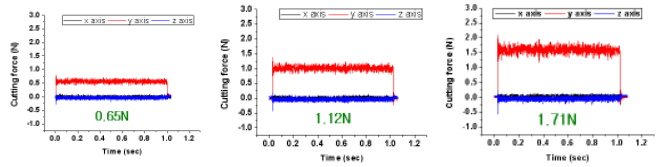
Fig. 5 Comparison of machining surface with tool angle

3.2 가공 절삭력 상태 분석

Fig. 6은 각 가공에서의 절삭력을 측정한 그림이다. 모든 그래프에서 절삭 깊이가 증가 할수록 초기 충격치가 증가하고 정적 절삭력도 절삭 단면적에 비례하여 증가함을 볼 수 있다. 또한, 동적 절삭력 파형 폭도 절삭 단면적에 비례하여 함께 증가함을 보여준다. Fig. 6(c)에서 동적절삭력은 공구폭이 작은 공구에서 진동이 심하게 나타나는데 이는 동일한 절삭면적으로 가공하기 위해서 절삭 깊이를 증가시킴에 따라 미세한 공구의 진동 현상이 더해져 나타난 것으로 보여 진다. 특히 Fig. 6(c)에서는 동적절삭력이 크게 증가 한 것을 볼 수 있는데 많은 버가 발생하는 등의 문제를 발생 시켰음을 예상 할 수 있다.



(a) cutting area 0.6mm² (b) cutting area 1.21mm² (c) cutting area 1.82mm²
(tool width= 60μm, angle= 2.86°)

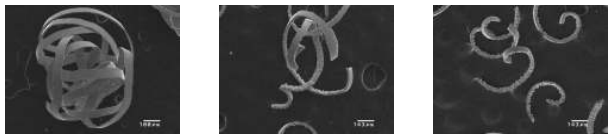


(d) cutting area 0.6mm² (e) cutting area 1.21mm² (f) cutting area 1.82mm²
(tool width= 80μm, angle= 5.5°)

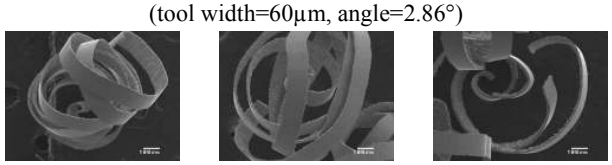
Fig. 6 Comparison of cutting force data

3.3 칩 분석

Fig. 7은 본 실험에서 발생된 칩의 모습을 나타낸 것이다. 대분분의 칩은 유동형칩으로 생성되었다. 그러나 Fig 7(c)에서와 같이 폭이 좁은 공구로 절삭 깊이를 크게 하여 가공한 경우에는 전단형칩이 발생 하였다. 이는 공구폭이 작은 미세한 공구에 과도한 절삭력이 작용하여 공구에 떨림이 발생한 결과로 보여진다. 이러한 현상은 Fig. 6(c)의 절삭력 그래프에서 동적절삭력 파형이 증가하는것과 일치한다. 이러한 결과를 볼 때 폭 60um 공구로 절삭 깊이 30um의 가공은 공구 파손의 위험이 있음을 알 수 있고 그 결과 가공 표면 상태도 좋지 않음을 알 수 있다.



(a) cutting area 0.6mm² (b) cutting area 1.21mm² (c) cutting area 1.82mm²
(tool width=60μm, angle=2.86°)



(d) cutting area 0.6mm² (e) cutting area 1.21mm² (f) cutting area 1.82mm²
(tool width=120μm, angle=5.72°)

Fig. 7 Comparison of chip formation

4. 결론

본 연구에서는 미세사각공구의 공구폭 및 공구각에 따른 가공특성을 알아보기 위하여 관련된 실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 미세 사각 공구의 공구폭이 작을수록 가공표면의 버 생성이 심하게 발생하였다.
2. 미세 사각공구의 공구각이 작을수록 동일한 절삭 깊이로 가공할 경우 가공면의 버 발생이 심하게 발생한다.
3. 미세 사각채널 패턴을 가공하기 위해서는 공구의 형상과 강성을 고려한 적절한 가공 조건의 확립이 필요하다.

참고문헌

1. 이강원, 김병두, “미세 사각패턴 가공 시 절입깊이에 따른 영향 분석 “, 한국정밀공학회 춘계학술대회, 2008
2. 이종민, 송석균, “미세패턴 가공 시뮬레이션 기술 개발”, 대한기계학회, pp 68~76, 2008