

공구특성 변화에 따른 마이크로 V홈 절삭특성 분석

*홍성민¹, 이강원¹, 제태진¹, 최두선¹, 유영은¹, 황경현¹, 김태경², 김영일²

¹ 한국기계연구원 나노공정장비연구센터, ² 한국산업기술대학교 Nano-TIC 센터

Machining Characteristics of Micro V-shaped Groove according to Variation of Tool Properties

*S. M. Hong¹, T. J. Je¹, D. S. Choi¹, Y. E. Yoo¹, K. H. Whang¹, T. K. Kim², Y. I. Kim²

¹ Nano-Mechanical System Research Center, KIMM, ² Nano-Technology Innovation Center, KPU

Key words : Micro V-Shaped groove, Cutting force, Diamond tool, Tungsten carbide tool, Tool properties, Chip formation

1. 서론

LCD의 도광관을 포함한 많은 광응용 제품은 그 표면에 다양한 형태의 미세 패턴이 설계되어 있고 이러한 패턴의 형상 및 크기는 제품의 특성을 결정하는 매우 중요한 인자가 된다. 최근 이러한 미세 패턴의 크기는 제품의 기능 향상을 목적으로 더욱 작아지는 경향을 보이고 있으며 그 형상도 기존의 단순한 형태에서 벗어나 비대칭면, 곡면 등을 가지는 복잡한 형태를 보이고 있다. 이러한 제품 설계 경향의 변화로 인해 기존의 반도체 공정을 응용한 에칭 등의 공정을 이용한 정밀 미세 형상의 구현이 매우 어려운 실정이다. 따라서 원하는 형상을 자유롭게 직접 기계 가공할 수 있는 초미세 절삭 가공 기술과 더불어 가공 대상 면적이 커짐에 따라 다량의 미세 패턴을 빠르고 정확하게 가공할 수 있는 절삭 가공 고속화의 필요성이 매우 크다.

본 연구에서는 기계적 절삭 가공에 의한 미세 패턴 금형 제작 시 고속가공을 고려하여 실험장치의 최대 이송속도를 적용하여 다이아몬드 및 초경공구를 이용하여 공구각 변화에 따른 절삭특성을 분석하고자 하였다. 또한 본 실험에 사용한 금형재료는 STAVAX 표면에 무전해 도금 방식을 이용하여 Ni을 약120 μm의 두께로 도금한 소재가 사용되었다.

2. 실험장치 및 조건

Fig. 1은 고속가공실험을 위한 실험장비와 장치의 셋업상태를 나타내었다. 본 실험장비의 사양은 X축 이송거리 500 mm, Y축 이송거리 450 mm, X축 최대 이송속도 10,000 mm/min, Y축 최대 이송속도 2,000 mm/min 이며, 공구 재 및 공구형상 변화에 따른 절삭특성 분석 실험을 위해 지그 장치를 이용하여 공구동력계를 장착하여 절삭력을 분석하였다. 또한 절삭력 데이터 분석을 위한 Amplifier 와 A/D변환기를 사용하여 얻어진 데이터를 DEWE soft 의 절삭력 분석 프로그램을 이용하여 컴퓨터에 저장 및 실시간으로 분석 할 수 있도록 하였다.

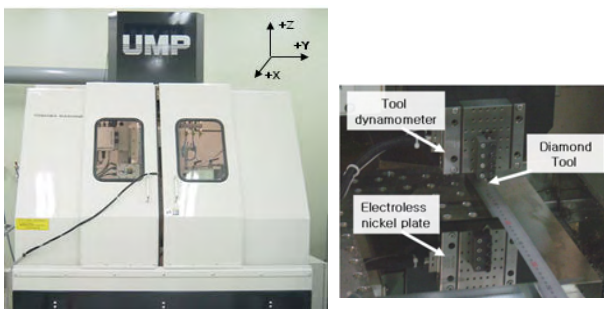


Fig. 1 Experimental set-up

본 실험에 사용한 절삭공구를 SEM 촬영을 통하여 제작상태 및 표면 상태 분석 결과를 Fig. 2에 나타내었으며, Fig. 2 (a), (b), (c)의 공구재는 천연다이아몬드 이며, Fig. 2(d)의 공구재는 초경(Tungsten carbide) 이다.

Table 1 은 공구재 및 공구각에 따른 마이크로 V홈 절삭특성 분석을 위한 절삭조건을 나타내었다.

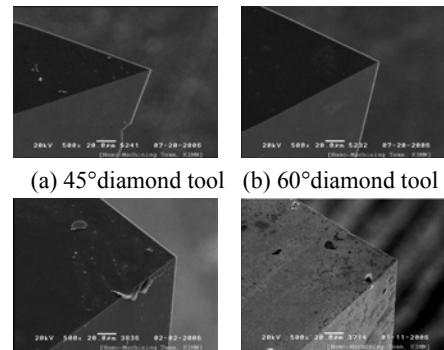


Fig. 2 Photograph of cutting tools

Table 1 Cutting conditions of micro V-shaped groove

Cutting tool	45°,60°,90° Natural diamond tool 90° Tungsten carbide tool
Workpiece	Electroless nickel plate (thickness 120 μm)
Feed speed	10,000 mm/min
Cutting depth	7, 10, 15 μm
Cutting oil	Non

3. 가공결과 및 고찰

공구특성 변화에 따른 가공결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3(a)는 45° 다이아몬드 공구를 이용하여 미세V홈을 가공한 결과이다. 가공 단면형상은 양호하나 소재표면과 가공 면의 경계 부에 버가 발생한 것을 볼 수 있으며 칩의 경우 가공 면과 소성 변형된 면의 경계 부가 매우 거친 것을 알 수 있다. Fig. 3(b)는 60° 다이아몬드 공구를 이용한 미세V홈 가공결과이며 45° V홈 가공결과에 비하여 버의 생성이 미소 감소하였고 칩은 소성 변형된 면과의 경계 부 거칠기가 미소 호전 되었다. Fig. 3(c)는 90° 다이아몬드 공구의 가공결과이다. 가공면의 경계 부는 버가 존재 하지 않는 매우 양호한 표면을 관찰할 수 있으며 칩 형상 또한 매우 양호함을 알 수 있다. 그러나 동일한 각의 Fig. 3(d)의 초경공구는 다이아몬드 공구에 비해 공구의 선예도가 좋지 않아 가공 경계면에 미소의 버가 발생하였고, 칩 표면에 급한 흔적을 관찰 할 수 있었다.

초경공구의 공구인선 선예도가 단결정인 다이아몬드 보다 좋지 않은 이유는 텅스텐 카바이드 분말을 고온 고압에서 소결한 것으로써 여러개의 결정입자가 존재하기 때문이다.

본 실험의 가공결과에서 보는바와 같이 공구 각 및 공구 재에 따라 버의 크기가 다른 이유는 버를 최소화 할 수 있는 절삭파라미터 중에서 가장 중요한 인자인 변형되지 않은 칩 두께와 공구의 선예도(tool sharpness)에서 기인되었음을 알 수 있다.

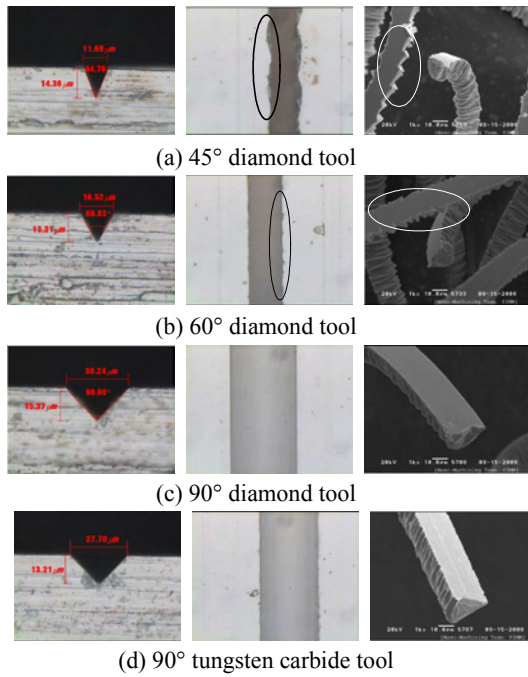


Fig. 3 Machined V-shaped microgroove (cutting depth 15 μm, feed speed 10,000 mm/min)

Fig. 4는 공구각 60° 다이아몬드 공구를 사용하여 절삭 방향 이송속도 10,000 mm/min에서 절삭깊이 변화에 따른 칩 형상 변화에 대하여 나타낸 것이다. 절삭깊이가 작아질수록 칩이 말리는 반경 즉, 칩 킨 반경이 작아지면서 칩이 끊어 지지 않은 연속된 칩을 생성 하였으며 45° 및 90° 공구에서도 같은 현상이 발생 하였다. 이러한 현상의 원인은 절삭깊이가 작아질수록 전단에 의하여 공구 경사면을 따라 피삭재를 칩으로 제거시키기 어렵게 되고, 공구의 경사면과 여유면이 이루는 모서리에서 국부적으로 집중되기 때문에 칩 킨 반경이 작게 나타나는 것으로 판단된다.

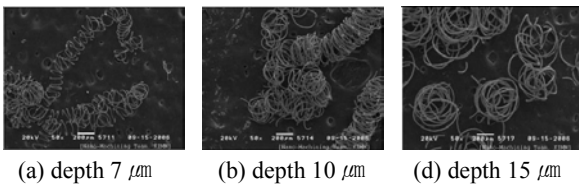


Fig. 4 Chip formation of micro V groove machining (cutting tool 60°diamond, feed speed 10,000 mm/min)

Fig. 5는 다이아몬드 재 와 초경 재에 공구 각이 90° 인 공구를 제작하여 마이크로 V홈 가공 후 공구 재에 따른 절삭 칩 형상 및 공구 선단 상태를 분석한 결과이다. Fig. 5(a)는 다이아몬드 공구에 의해 생성된 칩 이며 칩 킨 반경에 있어 Fig. 5(b)의 초경 공구에서 발생한 칩보다 작은 것을 관찰 할 수 있다. 또한 초경 공구의 경우 가공 후 공구선단에 구성인선이 발생되었으며 초음파 세척 후에도 제거되지 않았다. 구성인선은 공구 선단에 부착되어 공구의 절삭역할을 대신하게 되어 가공면의 품위와 정밀도를 저하 시키는 원인이다. 그러므로 절삭가공 시 구성인선이 발생 하지 않는 절삭조건 선정이 매우 중요하다.

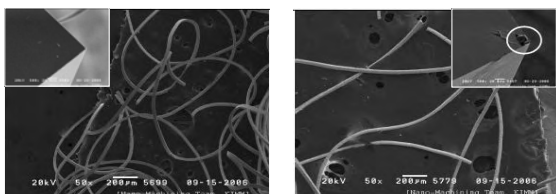


Fig. 5 Chip formation according to tool materials (cutting depth 15 μm, feed speed 10,000 mm/min)

Fig. 6은 공구특성에 따른 각각의 절삭력을 분석한 그래프이다. 절삭깊이 15 μm에서 공구각에 따른 절삭단면적을 계산해 보았다. 45°공구 약93 mm², 60°공구 약130 mm², 90°공구 약 225mm²이며 90° 공구의 경우 45° 공구 보다 절삭단면적이 약 2.5 배 크며, 이에 따른 절삭력 또한 45° 공구 보다 90° 다이아몬드 공구에서 2.2배 크게 발생하였다. 단면적 증가에 따른 절삭력 증가량이 유사하게 나타남을 알 수 있다.

공구재에 따른 절삭력 분석결과 90° 초경 공구의 경우 이송방향인 X축에 대하여 약1.3N의 절삭력이 발생하였고, 90° 다이아몬드 공구의 경우 약 1.1N의 절삭력이 발생하였다. 다이아몬드 공구재 에서의 경우 Z방향에서 0.5N 이하의 절삭력이 발생 하였으나 초경 공구재의 경우 Z방향의 절삭력이 약1N 까지 상승함을 알 수 있다. 이와 같이 초경 공구재 에서의 절삭력이 다이아몬드 공구재 보다 크게 발생한 원인은 공구선단의 선예도와 구성인선 발생에 따른 비 절삭저항의 증가에 의한 것으로 판단된다.

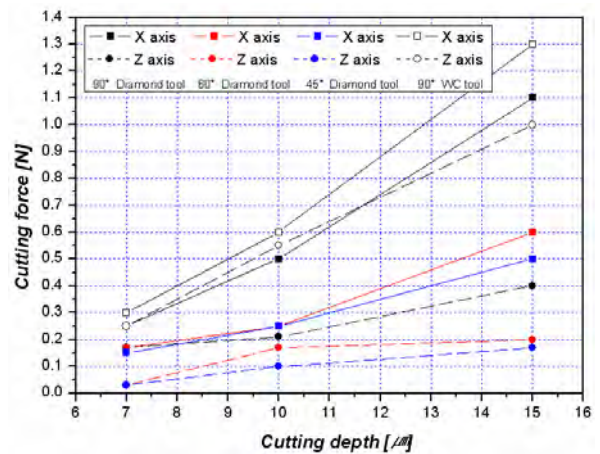


Fig. 6 Cutting force with tool properties

4. 결론

본 연구에서는 기계적 절삭 가공에 의한 다양한 형상의 미세 패턴을 고속 가공을 고려하여 무전해 니켈 소재에 공구각 및 공구재, 절삭깊이 변화에 따라 변하는 칩 형상, 가공표면 품위 및 절삭력에 대하여 분석 고찰 하였다.

1. 공구각이 작을수록 가공표면의 버가 다량 발생하였고 칩형상 또한 매끄럽지 못하였으며 90° 공구의 경우 공구선단의 선예도가 좋은 다이아몬드 공구가 초경 공구에 비해 버의 발생이 적었다.
2. 절삭깊이가 작아질수록 칩 킨 반경이 작은 연속된 칩이 발생하였다.
3. 초경 공구의 경우 공구선단에 구성인선이 발생하였고, 다이아몬드 공구에 비해 칩 킨 반경이 크며, 공구인선 선예도가 불량하여 칩 표면에 굵힌 자국이 빈번하게 발생하였다.

참고문헌

1. S. Maeda, Y. Takeuchi, K. Sawada, T. Kawasaki and T. Sata., "Creation of Ultraprecision Microgrooves Using Non-Rotation Cutting Tools", JSPE, Vol. 66, No. 9, 2000
2. Nakayama, K. Arai, M. "Burr Formation in Metal Cutting," Annals of the CIRP, Vol. 36, No. 1, pp. 33~36, 1987.
3. K.C.Lee, W.I.Kim, D.H.Wang, Y.K.Lee., " A Study on the Formation Using Acoustic Emission in Endmill Cutting," KSMPE Spring Conference 2003 pp. 55~60, 2003
4. J.B. Ko, G.H.Kim, J.H.Won., "Cutting Characteristics of Oxygen-Free Using the Ultra Precision Machining" KSPE, Vol. 19, No. 12, 2002