

프리즘 패턴의 기계적 절삭 가공

유영은¹· 홍성민¹· 제태진¹· 최두선[#]

Mechanical Machining of Prism Pattern

Y. E. Yoo, S. M. Hong, T. J. Je, D. S. Choi

(Received September 9, 2005)

Abstract

In recent, various shapes of pattern in micron or nano scale are adapted in many applications due to their good mechanical or optical properties. Light guide panel (LGP) of the LCD is one of important applications for micro pattern and micro prism shape is one of the typical patterns. The size of the surface patterns in most applications is decreasing to the order of micron or even under micron. On the other hand, the area to be patterned keeps enlarging. These two trends in patterned products require tooling micro patterns on large surface, which has still many technical problems to be solved mainly due to pattern size and the tooling area. In this study, we fabricated prism shape of patterns using diamond cutting tool on some metal core and plastic core like PMMA. Some cutting conditions were investigated including cutting force, cutting depth and speed for different core materials.

Key Words : Prism pattern, Diamond cutting tool, Mechanical machining, Cutting force, Cutting depth

1. 서 론

최근 LCD의 핵심 부품 중의 하나인 BLU의 도광판과 같은 디스플레이 기기 부품을 비롯하여 많은 응용 제품에서 표면에서의 기계적 특성이나 광학적 특성의 개선을 위해 마이크로 혹은 나노 크기의 다양한 패턴에 대한 수요가 증가하고 있다. 이러한 응용 제품의 대부분은 넓은 면적의 표면에 매우 작은 패턴이 설계된 형태를 보이고 있는데 이와 같은 부품의 대량 생산을 위해서는 대면적에서의 미세 패턴 가공/금형 기술 및 성형 기술의 개발이 필요하다. 미세 패턴 금형 제작을 위한 패턴 가공은 미세 절삭 가공, 리소그래피 공정을 응용한 etching 공정 및 electroforming 에 의한 니켈 스탬퍼 제작 기술 등이 패턴의 형상 및 크기, 필요 가공 면적 등을 고려하여 선택적으로 적

용 될 수 있는데, 패턴이 미세화 되고 형상이 다양해 지며, 가공 면적이 커짐에 따라 이에 대응할 수 있는 가공 방법의 개발에 많은 관심이 모아지고 있다.

앞에서 기술한 미세 패턴 제품 금형 가공 방법 중, 기계적 절삭 공정은 다양한 패턴 형상의 구현이 가능하고 가공 면 상태가 매우 우수하여 고성능의 기능성 표면 제품의 개발에 매우 적합하나, 양산 공정에서의 적용을 위해서는 가공 속도, 패턴이나 가공 면적의 크기, 가공 결합 등의 문제 개선을 위한 기술 개발이 필수적이다.

본 연구에서는 기계적 절삭 가공에 의한 미세 패턴 가공 기초 기술 개발을 위해서 서로 다른 소재에 대하여 절삭 깊이, 절삭 속도 등에 따른 절삭력, 가공 면 및 가공 형상 결과를 실험을 통해 분석하고 최적의 절삭 공정 조건을 구하고자 하였다.

1. 한국기계연구원 지능형정밀기계연구본부
교신저자: 한국기계연구원 지능형정밀기계연구본부
E-mail: choids@kimm.re.kr

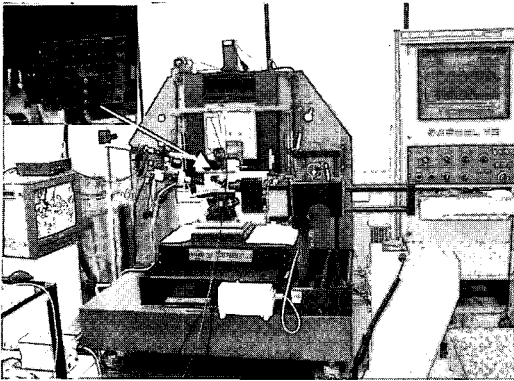


Fig. 1 Micro fabrication system for experiments

2. 프리즘 패턴 가공 실험

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 초정밀 미세 가공시스템은 X-Y-Z의 3축의 가공 자유도를 가지고 있으며, 이를 기반으로 엔드밀링, 드릴링 및 플라이 커팅에 의한 미세 가공을 수행할 수 있다.

시스템의 제어는 PC기반의 Turbo PMAC board를 사용하였고, 3 차원 형상의 초소형부품 제작을 위하여 CAD/CAM기능이 지원되는PMAC-NC software를 추가 설치하여 CAM 프로그램에서 생성된 NC data를 직접 받아 가공 할 수 있도록 하였다. 또한 공구 밑에는 0.002N의 미세 절삭력을 측정할 수 있는 공구동력계(Kistler, MiniDyn 9256A2)를 설치하였다. 초정밀 미세 가공시스템의 외관과 사양을 Fig. 1 과 Table 1 에 나타내었다.

2.2 가공방법 및 공구

프리즘 형상의 패턴은 세이핑 공정을 이용하여 가공하는데, 다이아몬드 공구를 절삭면에 수직인 방향으로(Z축)에 고정시킨 후 상하 운동을 통해서 가공 절입 양을 조절하며 패턴 방향(Y축) 및 패턴 수직 방향(X축)으로의 이송 운동을 통해서 패턴 가공 및 패턴 Pitch를 제어 한다. 프리즘 패턴 가공을 위한 세이핑 가공법의 원리와 모식도를 Fig. 2에서 나타내었다.

Fig. 3에 본 실험에서 사용된 90° 다이아몬드공구의 상세도면 및 세부 형상을 나타내었다. 경면 가공을 위해서 단결정 천연다이아몬드 공구를 사용하였고, 1 μ m의 형상 및 치수정밀도를 가지도록 제작하였다.

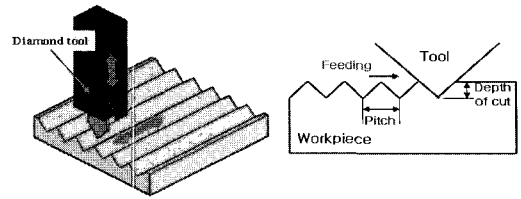


Fig. 2 Schematics of shaping for prism pattern

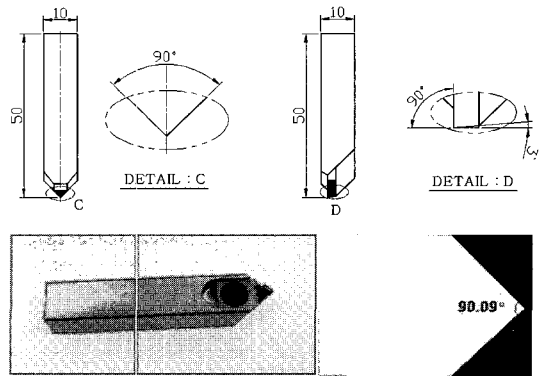


Fig. 3 Diamond tool of 90°angle

Table 1 Specification of the micro machining system

	Item	Unit	Specification
X-Y Axis Stage	Moving Stroke	mm	200×200
	Feeding Speed Range	mm/s	0.005-22
	Min. Incremental Move	nm	5 (200000cts/mm)
	Position Repeatability	μ m	0.05-0.25
Z Axis Slide	Moving Stroke	mm	100 (LS1mm/rev)
	Feeding Speed Range	mm/s	0.005-22
	Min. Incremental Move	nm	40 (25000cts/mm)
Table	Size	mm	220 ×220
	Allowable Weight	N	890
Straightness	X Axis	μ m	H<0.5, V<0.6
	Y Axis	μ m	H<0.5, V<0.6
	Z Axis	μ m	H, V : 0.0025
Repeated Precision (X/Y/Z Axis)		μ m	< 0.1

2.3 가공소재

Table 2는 본 실험에서 사용된 소재의 기계적 성질을 나타내었다. Fig. 4는 각각의 소재에 대하여 동일한 조건에서의 실험을 위하여 대형 vise 에 5종의

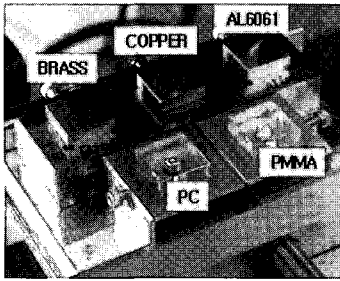


Fig. 4 Photo of materials setting

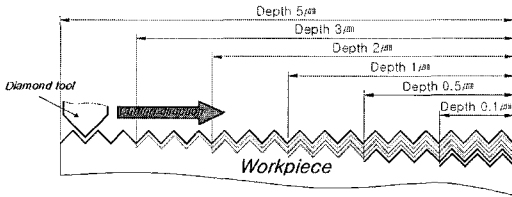


Fig. 5 Cutting mechanism of prism pattern

Table 2 Mechanical properties of materials

Property	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (HB)
Materials			
6:4 Brass	25	55	46
Copper	22~25	49~60	35~40
Al 6061	18~25	10~14	40~60
PC	6~7	90~140	700~900
PMMA	4.5	47	590

Table 3 Machining conditions of prism pattern

Cutting tool	90° Diamond tool	
Cutting speed	1200 mm/min	
Cutting depth	Rough cutting : 5 μm/pass	Finishing cutting : 3,2,1,0.5,0.1 μm/pass
Workpiece	Brass, copper, Al6061, PC, PMMA	
Cutting oil	Spindle oil	

재료를 함께 고정하였고 평면가공을 통해 소재의 평탄도가 1μm 이내가 되도록 하였다.

2.4 가공방법 및 조건

본 실험에 적용된 절삭 공정은 Fig. 5에 나타내었듯이, 5μm의 절입 깊이로 원하는 높이와 피치의 형상을 1차 가공하는 황삭 공정 후 5단계에 걸친

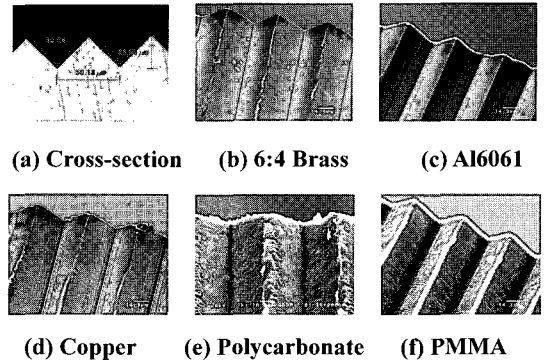


Fig. 6 SEM of machined V-groove

정삭 과정을 통해 프리즘 패턴 가공을 수행하였다. 이때 정삭 1단계는 황삭의 절입양보다 적은 3 μm로 절입하여 절삭하며, 2단계 2μm, 3단계 1μm, 4단계 0.5μm, 5단계 0.1μm의 순으로 가공을 진행하였다. Table 3에 구체적인 절삭조건을 나타내었다.

3. 실험 결과

3.1 소재 차이에 의한 가공 결과

Fig. 6은 Cutting speed : 1200 mm/min, Cutting depth : 5μm에서의 6:4 Brass, Al6061, Copper, PC, PMMA의 가공표면 SEM 사진 및 단면 측정 사진이다.

각각의 소재에 대하여 가공표면의 상태를 분석하여 보면 6:4 Brass의 경우 가공부 에지에 다량의 버가 존재하고, Al6061의 경우는 6:4 Brass보다 양호한 가공 상태이다. Copper의 경우 버와 함께 가공면에 뜬 흔적이 발생하였고 PC와 PMMA는 가공 상태가 불량하며, 가공부 산과 골의 에지가 명확하지 않다. PC, PMMA를 금속재료와 비교할 때, 가공 면이나 형상에서의 정밀도가 저하되는 것을 알 수 있다.

황삭의 경우 평면에 5μm의 절입량으로 가공되는 첫 번째 가공부터 프리즘 형상을 완성하는 다섯 번째 가공까지의 절삭력 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 본 실험에서 적용된 모든 소재가 최초의 절입에서 약 0.05N 내외의 절삭력을 가지며 PC, PMMA, Al6061, 6:4 Brass, Copper의 순으로 기울기 값이 증가하는 것을 볼 수 있다.

Copper의 경우 다섯 번째 절입에서 절삭 진행 방향인 Y축의 절삭력이 약 0.46N이고 PC의 경우 약 0.125N이다. 또한 Z축의 절삭력은 모든 소재에서 0.05N 이하이며 증가량 또한 매우 작다.

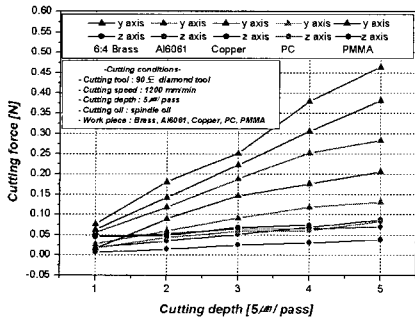


Fig. 7 Cutting force for materials character

3.2 절입 깊이 차이에 의한 가공 결과

Fig. 5에 나타난 절삭 공정에 의해 프리즘 패턴을 가공하는 경우, 절입 깊이 변화에 따른 표면 가공 상태 결과를 Fig. 8 (6:4 Brass), Fig. 9 (Al6061), Fig. 10(PMMA)에 6:4 brass, Al6061 및 PMMA 소재에 대해 나타내었다.

6:4 brass 소재의 경우, 절입 5μm인 황삭 과정에서 버가 다량 발생하여 Fig. 8(a)에 나타난 바와 같이 가공된 표면 상태가 매우 거침을 알 수 있다. 절입 깊이가 2μm 및 0.5μm로 감소함에 따라 버의 발생량도 감소하여 가공된 표면이 균일해지는 결과를 볼 수 있으며, 절입 0.5μm 가공의 경우 매우 매끄러운 가공 표면을 얻을 수 있다.

Copper 소재의 경우에도 6:4Brass와 유사한 경향을 보이므로 6:4Brass와 함께 본 절삭 공정을 적용한 정밀 프리즘 패턴 금형의 가공이 가능할 것으로 판단된다.

Al6061 소재를 이용한 가공 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 절입 5μm의 황삭과 절입 0.1μm의 정삭의 두 경우 모두 양호한 표면 가공 상태를 보여주고 있다. 따라서 Al6061 소재를 이용하여 프리즘 패턴 금형을 가공하는 경우 절입 5μm의 황삭 가공을 통해서도 양호한 가공면을 얻을 수 있어 고속가공이 가능한 것으로 판단된다.

PMMA 소재의 경우, 절입 깊이 변화에 따른 가공 표면 상태 분석 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 절입 5μm의 황삭 결과, 가공부 표면에 많은 뜯김 현상이 발생하였으며 가공부 에지가 정밀하게 가공되지 않았음을 알 수 있다. 이 경우에도 절입 깊이가 감소할수록 가공부 표면 상태가 양호해지는 것을 볼 수 있으며, Polycarbonate의 경우에도 같은 경향을 얻을 수 있었다.

6:4 Brass소재 정삭의 경우 절입 깊이에 따른 절삭력 변화를 Fig. 11에 나타내었다. 그림에서 볼

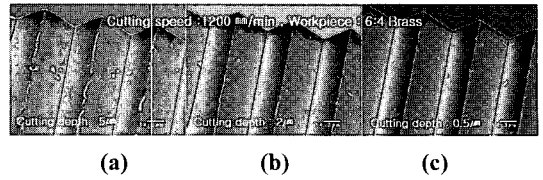


Fig. 8 Machining prism pattern with 6:4 brass
(a) Cutting depth : 5 μm
(b) Cutting depth : 2 μm
(c) Cutting depth : 0.5 μm

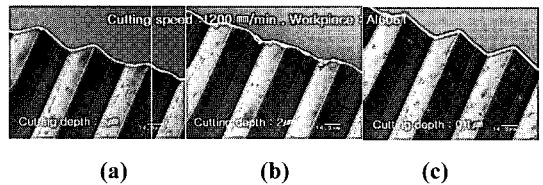


Fig. 9 Machining prism pattern with Al6061
(a) Cutting depth : 5 μm
(b) Cutting depth : 2 μm
(c) Cutting depth : 0.1 μm

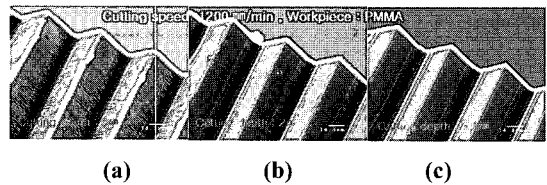


Fig.10 Machining prism pattern with PMMA
(a) Cutting depth : 5 μm
(b) Cutting depth : 2 μm
(c) Cutting depth : 0.1 μm

수 있듯이 절입 0.1μm에서 약 0.025N, 절입 3μm에서 약 0.23N의 절삭력이 발생하였고, 절입 깊이가 증가할수록 절삭력이 증가함을 알 수 있다.

Fig. 12는 Cutting speed: 1200mm/min, Cutting depth 5μm, 3μm, 2μm, 0.5μm, Workpiece : 6:4 Brass에서의 동적 절삭력 파형을 분석하였다. 그림에서 보는 바와 같이 절입 깊이가 감소할수록 파형의 폭이 감소하였고 표면의 질이 향상됨을 알 수 있다. 또한 가공 중 실시간으로 측정되는 절삭력 파형 폭 변화 분석을 통해서 가공 면의 품질을 예측할 수 있음을 알 수 있다.

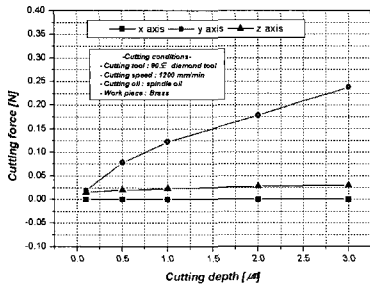


Fig.11 Cutting force vs. cutting depth(cutting speed: 1200mm/min, material: 6:4 Brass)

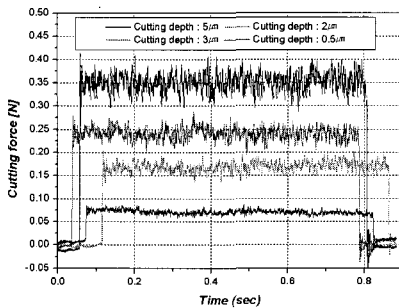


Fig.12 Cutting force vs. time(cutting speed: 1200mm/min, material: 6:4 Brass)

4. 결론

본 연구에서는 프리즘패턴 도광판 금형 가공용 공구를 설계하고 천연다이아몬드를 이용하여 고정밀도의 공구를 제작하였으며, 6:4 Brass, Copper의 절삭 가공에서의 버 발생에 의한 가공 표면

상태와 PC, PMMA 가공의 경우 표면이 뜯기는 현상에 대한 가공 조건의 영향을 실험을 통해 분석하였다. 6:4 Brass, Copper, Al6061, Polycarbonate, PMMA의 서로 다른 소재에 대한 가공 실험 결과 Cutting speed 1200mm/min, Cutting depth : 5μm의 가공조건에서 Al6061은 다른 소재에 비하여 가공면의 상태가 매우 양호하였고, Copper가공의 경우, Polycarbonate보다 약 3.5배 정도 큰 절삭력이 요구되었다. 또한 절입 깊이에 따른 실험분석 결과 Al6061을 제외한 모든 소재에서 절입량이 감소할수록 표면의 품질이 양호해 짐을 알 수 있었고, 가공 중 실시간으로 측정되는 절삭력 파형 분석을 통해 가공 표면의 상태를 예측 할 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술개발 사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 “대면적 미세형상의 초정밀 지능화 가공원천기술”의 세부 과제로서 수행 중이며, 관계자 여러분들께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

- [1] 제태진, 이종찬, 최 환, 2004, 다이아몬드 공구에 의한 미세 그루브 금형 가공기술 연구, 한국 기계가공학회 2003 년도 추계학술대회, pp. 125~129.
- [2] 제태진, 2004, 마이크로 부품제조를 위한 미세 절삭공정연구, 박사학위논문.