

대면적 롤금형의 미세패턴가공시 가공속도 향상을 위한 연구

An Experimental Study on the Improvement of Cutting Velocity for Micro Pattern Machining on Large Surface Roll Molds

*#이동윤¹, 송기형², 남성호¹, 최영재², 이석우³

*#D. Y. Lee(dylee@kitech.re.kr)¹, K. H. Song², S. H. Nam¹, Y. J. Choi², S. W. Lee³

¹ 한국생산기술연구원 융합생산기술연구부, ² 한국생산기술연구원 디지털협업지원센터, ³ 한국생산기술연구원 생산시스템연구부

Key words : Roll Mold, Micro Pattern Machining, Cutting Velocity, Single Crystal Diamond, Tool Wear, Burr

1. 서론

대면적 미세 가공기술은 현재 광학분야, IT부품분야, LCD분야 등에서 많은 시장을 형성하고 있으며, 모두 수십nm~수백 μ m급의 미세-초미세 패턴이 형성된 수십cm에서 수m까지의 대면적 금형 또는 제품을 고균일화·고품위 가공하는 것이 핵심 기술이다. 이러한 대면적 미세금형을 제작하기 위하여 기계적인 초정밀 가공기술이나 전자빔 등의 리소공정을 통한 반도체 공정기술이 모두 가능하나, 일반적으로 미세패턴의 크기 및 피치를 기준으로 하여 수십 μ m 이상일 경우 기계적인 가공이 사용되며, 제품 패턴폭이 수 μ m 이하일 경우 전자빔 등의 리소공정을 통한 반도체 공정기술이 사용되고 있다.

대면적 미세형상 가공기술은 디스플레이, 광학부품 분야의 고부가가치화를 위한 핵심기술이며, 향후 태양열 에너지, 연료전지 분야의 초정밀 부품제조의 공정의 기반기술로써 중요시 된다.

대면적 미세가공의 경우, 가공중 공구의 마모 및 파손에 의하여 가공의 균일도가 떨어지거나 가공이 중단된 경우 공구를 교체하는 것이 불가능하므로 대면적화에 따른 가공 장시간화에 많은 제약이 따른다.

대면적화에 따른 미세형상의 고균일 가공 및 가공시간 장시간화, 수 μ m이하의 미세형상 가공필요 등의 요구를 충족시키기 위해서 미세 패턴의 가공 공정에서는 일반적으로 다이아몬드공구를 사용하고 있다. 대면적 롤금형의 미세패턴 가공에 있어서 가공공정 중 다이아몬드공구를 이용한 피삭재의 절삭 과정에서 발생할 수 있는 불량요인으로는 공구의 마모나 파손으로 인한 가공 표면 품질의 불량 및 가공 형상의 치수 오차 발생과, 가공 시 버(Burr)의 발생으로 인한 가공 형상 불량으로 대변될 수 있다.

미세 가공영역에서의 가공 품질 확보를 위한 다이아몬드공구의 마모에 대한 연구는 많은 연구자들에 의해 활발히 수행되고 있다. 단결정 다이아몬드공구의 마모 현상과 관련하여 M. Rahman 등은 단결정 다이아몬드공구 (Single Crystal Diamond Tool)를 이용하여 무전해 니켈소재 (Electroless Nickel Plate)를 가공할 때 공구의 마모를 관찰하였으며[1], Rake Angle이 0° 일 때[2], Rake Face가 (1 1 0) 면을 갖게 될 때 마모가 가장 적게 일어난다는 사실을 발견하였다[3]. 이동윤 등은 전해니켈도금된 롤금형에서의 단결정 다이아몬드공구의 마모에 대하여 연구하였다[4].

미세 가공영역에서 다이아몬드공구의 마모에 대한 연구를 통해 공구 수명 연장을 위한 가공조건 최적화에 대한 연구는 많으나 생산성 측면에서 가공 속도 향상에 초점이 맞추어진 연구는 많지 않다. 특히, 가공 속도 향상시의 가공 품질에 대한 고려에서 공구의 마모뿐만 아니라 버(Burr)의 생성까지 고려한 연구는 찾아보기 어렵다. 본 논문에서는 롤금형의 대면적화 및 패턴의 미세화에 따른 가공시간의 증가에 대비하여 생산성을 고려한 가공속도의 향상에 따른 공구의 마모 및 버(Burr)의 발생에 대하여 연구를 진행한 결과를 정리하였다.

2. 실험 장비

본 연구에서는 미국 무어(Moore)사의 초정밀 롤가공용 선반(Ultra Precision Drum Lathe)에 철로 제작된 기본 구조에 구리로 도금한 롤 형태의 금형을 장착하여 미세패턴 가공 실험을 실시하였다.

실험에 사용된 공구는 일반적인 프리즘 패턴 가공에 사용되는 90°형상을 갖는 단결정 다이아몬드공구로 경사각 (Rake Angle) 0°, 여유각 (Clearance Angle) 6° 이며, Rake 면은 공구의 수명이 가장 길다고 알려진 (1 1 0) 의 방향성을 갖도록 제작하였다.

가공 결과의 분석을 위해서는 2D Digital Microscope를 이용한 가공면의 관찰과 가공면에 실리콘을 도포하여 채취한 패턴이 전사된 샘플에 대하여 주사전자현미경을 이용한 가공 형상을 측정하는 방법을 활용하였다.

3. 실험 결과

3.1 가공 속도별 공구 마모 실험

가공속도에 따른 다이아몬드 공구마모는 롤금형 경도 270hv에서 진행되었으며, 실험조건은 가공거리 50km, 가공속도는 각각 300m/min, 400m/min, 500m/min에서 분석되었다. 실험이 완료된 다이아몬드공구는 주사전자현미경을 통하여 마모정도를 확인하였으며, 정상적인 가공 상태를 확인하기 위해서 2D Digital Microscope를 이용하여 롤금형의 표면을 확인하였다. 본 실험에서 기준으로 삼은 가공거리 50km는 지름 320mm의 롤금형에 대해서 1200mm 영역을 50 μ m 피치를 갖는 미세패턴으로 가공할 때 3회 반복가공을 한 경우의 가공거리이다.

가공속도에 따른 공구마모도 실험 분석 결과 가공속도가 빨라

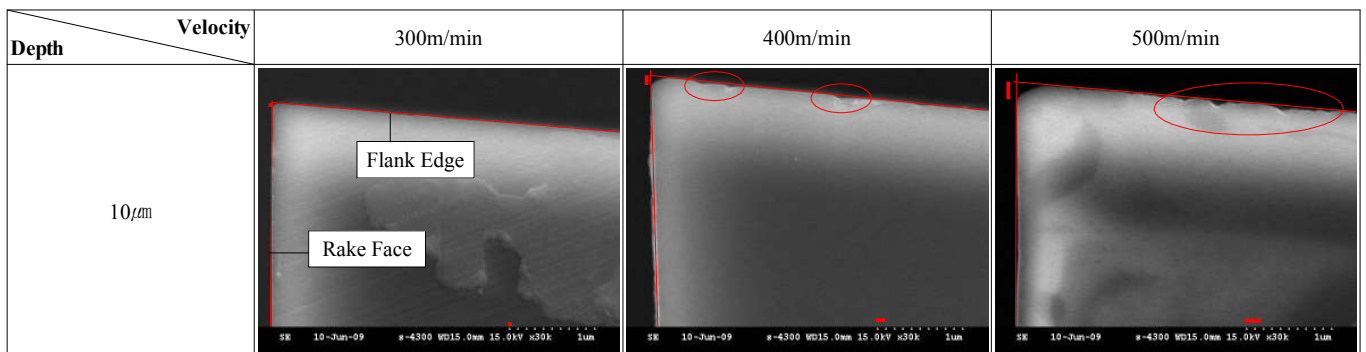
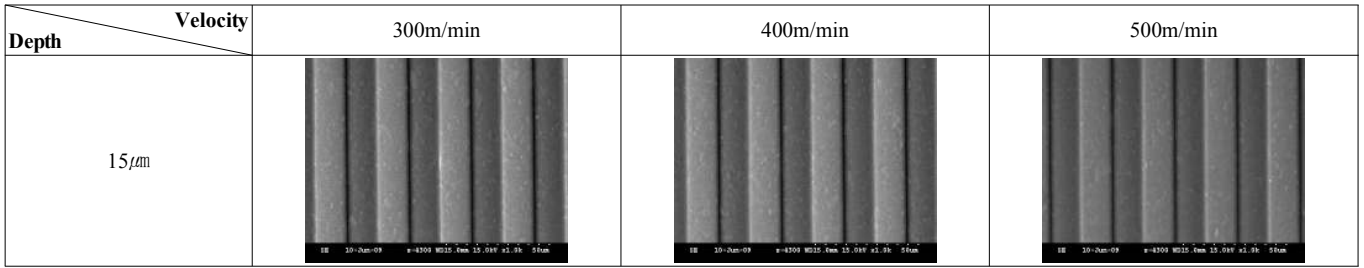
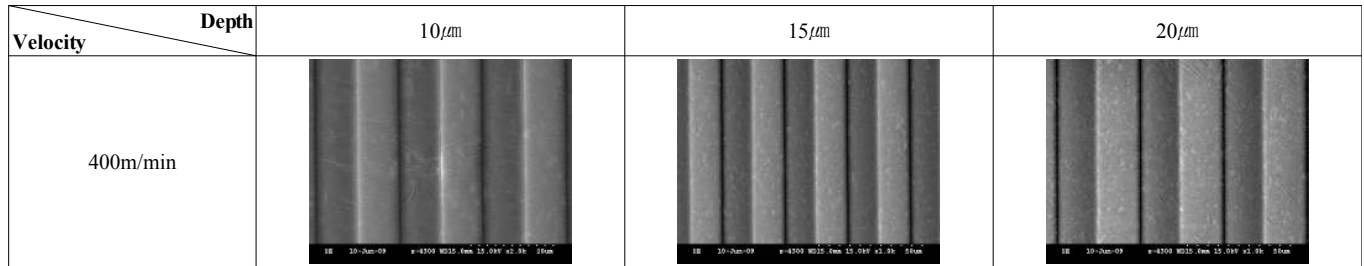


Fig. 1 Tool Wear (270hv)



(a) Depth of Cut : 15 μ m



(b) Cutting Velocity : 400m/min
Fig. 2 Machining Results (270hv)

질수록 절삭공구의 상태가 악화되는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 1과 같이 가공속도가 빨라짐에 따라서 공구의 마모정도가 0.1 μ m이하에서 0.2 μ m로 커지고, Flank Edge에 Micro Chipping의 발생정도가 증가되어 500m/min의 속도로 가공한 다이아몬드공구의 경우에는 Flank Edge가 파손수준이 이르는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 500m/min으로 가공결과 Rake Face의 마모가 심각하게 진행된 것을 확인할 수 있었다.

3.2 미세패턴 버(Burr) 생성 실험

Machining Removal Ratio (MRR) 증가 즉, 가공속도 및 가공깊이 증가에 따른 Burr의 생성여부를 확인하기 위하여 실험을 진행하였다. 실험은 가공속도를 300m/min, 400m/min, 500m/min, 가공깊이를 10 μ m, 20 μ m, 30 μ m으로 변화하며 진행되었으며, 실험이 진행된 롤금형의 경도는 210hv, 270hv 이다. 이에 대한 자세한 실험 조건은 Table 1과 같다. Burr 생성여부를 확인하기 위해서 실리콘 샘플링 후 주사전자 현미경을 이용하여 확인 하는 방법과 롤금형 표면을 2D Digital Microscope로 관찰하는 방법을 적용하였다.

롤금형 경도 210hv에서 실험을 진행한 결과, 가공깊이 10 μ m, 20 μ m, 30 μ m 및 가공속도 300m/min, 400m/min, 500m/min 각각의 교차 실험 결과를 2D Digital Microscope 및 실리콘 샘플을 주사전자 현미경으로 확인한 결과 모두 정상적인 가공이 진행되는 것을 확인하였다.

롤금형 경도 270hv에서 동일한 방법의 실험을 진행하였으며, 롤금형의 경도 및 현재의 실제 생산 수준을 고려하여 가공조건을 가공 깊이 10 μ m, 15 μ m, 20 μ m로 변경하였으며, 가공 속도는 이전 실험과 동일하게 300m/min, 400m/min, 500m/min 으로 진행하였다. 210hv에서의 실험과 마찬가지로, 2D Digital Microscope 및 실리콘의 주사전자 현미경 관찰을 통하여 가공 상태 분석을 하였으며, 분석 결과 모든 조건에서 정상적인 가공이 진행되는

Table 1 Machining Conditions

Cutting Velocity	Cutting Depth	Hardness of the Roll Mold
300m/min	10, 20, 30 μ m	210hv
400m/min	10, 20, 30 μ m	
500m/min	10, 20, 30 μ m	
300m/min	10, 15, 20 μ m	270hv
400m/min	10, 15, 20 μ m	
500m/min	10, 15, 20 μ m	

것을 확인할 수 있었다. Fig. 2는 실리콘 샘플의 주사전자현미경 사진인데, (a)는 가공 깊이를 15 μ m로 고정하고 가공 속도를 300m/min에서 500m/min까지 변화시켰을 때의 결과이며, (b)는 가공속도 400m/min에서 가공 깊이를 변화시켰을 때의 결과이다.

4. 결론

가공속도에 따른 다이아몬드공구 마모 실험을 진행 후 미세패턴 'Burr'의 생성에 대한 기초 실험과 교차 분석한 결과 생산성의 향상을 위해서 사용될 수 있는 최대 가공속도는 400m/min으로 제한하는 것이 좋으며, 500m/min의 가공속도를 사용 시에 가공거리 50km 가 넘어가면 공구파손에 이를 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다. 추가적인 고려사항으로 롤금형의 회전속도가 증가할수록 질량 불균형에 의한 롤금형의 진동량이 증가될 것이 우려되므로, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

후기

본 연구는 2008년 산업기술개발사업(전략기술개발사업)인 대면적 미세 가공공정 원천기술 개발 과제의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Pramanik A., Neo K.S., Rahman M., Li X.P., Sawab M., Maedab Y., "Cutting performance of diamond tools during ultra-precision turning of electroless-nickel plated die materials" Journals of Materials Processing Technology, Vol. 140, pp. 308-313, 2003.
2. Biddut A.Q., Rahman M., Neo K.S., Rezaur K., Rahman M., Sawa M., Maeda Y., "Performance of single crystal diamond tools with different rake angles during micro-grooving on electroless nickel plated die materials" Int J Adv Manuf Technol, Vol. 33, pp. 891-899, 2007.
3. Uddin M. Sharif, Seah K.H.w., Rahman M., Li X.P., Liu K. "Performance of single crystal diamond tools in ductile mode cutting of silicon" Journal of Materials Processing Technology, Vol. 185, pp. 24-301 2007.
4. 이동윤, 홍상현, 강호철, 최현중, 이석우, "전해니켈도금된 대면적 롤금형 가공시 단결정 다이아몬드공구의 마모에 관한 연구," 대한기계학회논문집 A권, Vol. 33, No. 7, pp.149-150, 2009.