

대면적 롤금형의 프리즘패턴 가공의 절삭력 특성 Cutting Force Characteristics of Prism Pattern Machining on Large Surface Roll Mold

*#이동윤¹, 송기형², 홍상현¹, 남성호¹, 이석우¹

*#D. Y. Lee(dylee@kitech.re.kr)¹, K. H. Song², S. H. Hong, S. H. Nam¹, S. W. Lee¹
¹ 한국생산기술연구원 e가공공정팀, ² 한국생산기술연구원 디지털협업지원센터

Key words : Micro Machining, Cutting Force, Large Surface Roll Mold, Prism Pattern, Diamond Tool

1. 서론

미세형상 가공기술은 LCD 및 광학기기의 대형화/고성능화를 위한 확산 필름 제작을 위해 중요한 기술이며, 최근 복합광학 플레이트 및 태양광발전 집광판, 연료전지 분극판 등의 고효율화 달성을 위한 산업계의 요구가 지속적으로 증가되면서 관련된 많은 연구가 진행 중에 있다. 이러한 미세형상 가공은 평판가공과 롤금형 가공으로 구분되는데, 특히 롤금형은 평판 가공에 비해서 가공이 연속적으로 이루어져 가공 속도가 빠르고, 대면적으로의 적용이 용이하며, 다양한 폭에 대한 적용이 가능하다는 장점이 있어서 최근 들어 많은 관심을 받고 있으며, 산업화를 위하여 국내외적으로 많은 노력이 경주되고 있는 실정이다. 이러한 미세형상 가공기술은 기존의 매크로(Macro) 영역에서 마이크로(Micro) 영역으로 가공 영역을 넓히기 위한 아이디어이며, 기존의 매크로 영역에서의 가공과는 다른 이론과 메커니즘으로 접근하여야 한다.¹ 본 논문의 연구 대상인 대면적 롤금형은 현재 LCD의 확산 필름제작에 주로 사용되고 있으나, 최근 들어 다양한 형상가공을 통한 다양한 용도로서의 가능성이 연구되고 있다. Fig. 1은 일반적인 롤금형 제조방식을 설명한 그림으로서, 철로 제작된 롤금형에 약 600 μm 두께로 구리 도금한 후 초정밀 회전 및 이송이 가능한 선반에서 가공하며, 가공 후 산화방지를 통한 수명향상을 위하여 크롬으로 코팅한 후 성형공정 거쳐서 광학시트를 제조하고 있다.

미세영역의 기계가공 기술 확보를 위한 그 동안의 연구들을 살펴보면, Y. H. Mu 등은 공구에 따른 절삭력 측정 실험에서 Lab View를 이용한 Data Acquisition Program을 구성하였고,² 홍성민 등은 피삭재에 따른 미세절삭 특성에 대하여 V형 다이아몬드 공구를 이용한 절삭실험을 수행하였다.³ 한편, 공구 마모나 가공공정의 상태 감시를 위하여 강익수, D. E. Lee 등은 AE 센서를 이용하여 연구하였으며,^{4,5} Hongli Gao는 다중센서로부터 수집한 신호들간의 상관관계 분석을 통하여 공구상태를 예측하였다.⁶

본 논문은 이러한 롤금형의 가공특성평가를 위한 실험 및 분석 결과에 대한 내용을 다루고 있으며, 특히 가공조건 변화에 따른 절삭력의 변화 특성에 초점을 맞추고 있다. 롤금형이 미세화, 대면적화, 복합화 됨에 따라서 가공조건 및 공구의 상태 변화가 예상되며 이런 현상들을 모니터링할 수 있는 기초자료로서 절삭력 데이터를 이용하고자 한다.

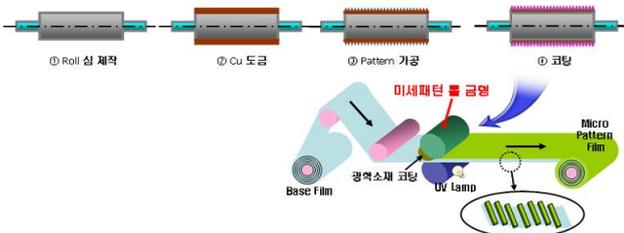


Fig. 1 Manufacturing Process of Roll Mold

2. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 가공 장비는 미국 Moore사의 Ultra Precision Drum Lathes(Horizontal Lathe)이며, 절삭력 측정에 사용된 공구동력계는 Kistler사의 9256B1이며, Fig 2와 같이 장착하였다.

철로 제작된 기본 롤금형을 약 600 μm 두께로 동도금하였으며, 도금된 면을 균일하게 하기 위하여 대형선반에서 CBN 공구를 이용하여 1차 경면작업을 실시한 후, 초정밀 롤금형 가공기에서 다이아몬드 공구를 이용하여 2차 가공을 통하여 최종적인 경면가공을 하여 가공실험 준비를 하였다. 본 실험에서는 일반적인 프리즘패턴 형상을 가공하기 위해 사용되는 90° 다이아몬드공구를 이용하여 가공 실험을 진행하였다.

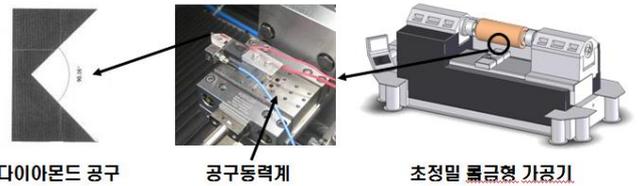


Fig. 2 Experimental Setup

3. 가공조건 별 절삭력 특성

3.1 소재제거율(MRR)과 절삭력과의 관계

가공조건 변화에 따른 절삭력의 변화를 살펴보기 위하여, 가공조건 중 가공 깊이를 변화시켜가면서 절삭력을 측정하였다. 실험 시 가공 깊이(Depth of Cut)를 5~30 μm로 변화시켰으며, MRR 계산을 쉽게 하기 위하여 가공 피치는 가공 깊이의 2 배로 설정하였고, 가공 속도(Cutting Velocity)는 300m/min로 고정하였다. Table 1은 상세한 실험조건을 나타낸다.

Table 1 Condition of experiment

Condition \ No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Depth(μm)	5	6	7	8	9	10	20	30
Pitch(μm)	10	12	14	16	18	20	40	60

Fig. 3은 실험결과를 소재제거율을 기준으로 그래프로 나타낸 것으로서, 소재제거율과 절삭력간에 강한 선형성이 있음을 알 수 있다. 그러나, 가공 깊이 10 μm 이하의 구간에서는 선형성이 약간 어긋나는 것이 발견되었는데, 이것은 왜란(Noise)의 영향인 것으로 판단된다. 롤금형을 가공할 때는 가공중 생성된 가공칩(Cutting Chip)이 롤금형의 표면을 손상시키지 않게 하기 위하여, 가공칩 제거를 위하여 강력한 흡입장치를 공구 바로 위에 장착해 놓고 있는데, 이 흡입장치의 작동유무가 공구동력계 신호에 강력한 영향을 주는 것으로 판명되었으며, 가공 깊이 10 μm 이하 구간에서 측정되는 절삭력을 상회하는 수준으로 왜란이 발생하는 것으로 사료된다.

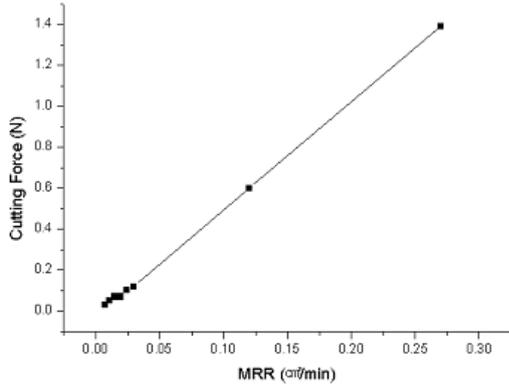


Fig. 3 Cutting Force vs. MRR(Material Removal Rate)

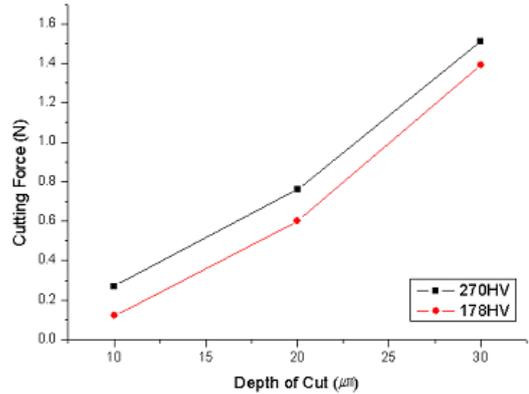


Fig. 5 Cutting Force vs. Hardness of Roll Mold

3.2 공구마모와 절삭력과의 관계

공구의 마모/파손 상태 변화에 따른 절삭력을 측정하기 위하여 마모도가 서로 다른 세 가지의 공구에 대하여 가공 깊이를 변화시켜가면서 공구동력계로 신호를 측정하였다. 각각의 다이아몬드공구는 정상적인 새공구(파란선 동그라미), 135km 를 가공하여 경사면 및 여유면에 약 0.5 μm 정도의 마모가 발생하여 결과적으로 약 0.2 μm 정도의 형상오차를 야기할 수 있도록 마모된 공구(분홍색 네모), 가공실험 중 공구가 파손된 공구(노란색 세모)를 사용하였으며, 가공 속도를 300m/min 로 고정한 상태에서 가공 깊이를 10, 20, 30 μm로 변화해가면서 가공실험을 하였다. Fig. 4 는 실험결과를 그래프로 나타낸 것으로서, 공구의 마모 상태가 정상 공구에서 마모 공구, 파손 공구로 변화함에 따라서 절삭력의 크기가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 가공깊이가 증가함에 따라서 절삭력이 증가하고, 공구가 마모되어 파손됨에 따라서 절삭력이 증가하는 것을 통하여 공구의 상태를 모니터링 하기 위하여 절삭력 신호를 기준신호로 사용할 수 있음을 알 수 있다. 특히, 파손 공구로 가공하였을 경우에는 다른 두 경우와 대비하여 절삭력의 차이가 완연히 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

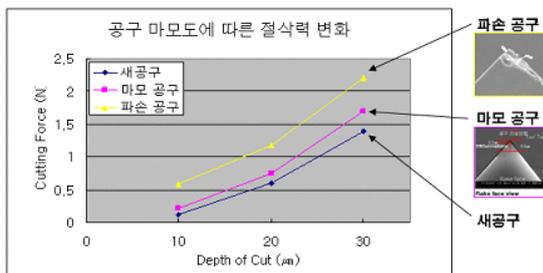


Fig. 4 Cutting Force vs. Tool Wear

3.3 동도금 경도와 절삭력과의 관계

롤금형의 동도금시 도금 조건에 따라서 롤금형의 경도가 변화한다고 알려져 있으며, 도금된 롤금형의 경도 변화에 따른 가공특성 평가를 위하여 극단적으로 다른 경도를 갖는 2 개의 롤금형에 대하여 가공 깊이를 변화시켜가면서 절삭력을 측정하였다. 실험에 사용된 롤금형은 도금부의 경도가 178Hv 와 270Hv 로 측정되었고, 가공 깊이는 10, 20, 30 μm로 변화시켰으며, 가공 피치는 가공 깊이의 2 배로 설정하였다. 미세패턴 가공 시 가공 속도는 300m/min 이며, 실험에 사용한 공구는 90° 다이아몬드 공구이다. Fig. 5 는 실험결과를 그래프로 나타낸 것으로서, 동도금 경도가 높은 경우에는 경도가 낮은 경우보다 높은 절삭력이 발생함을 확인하였다.

4. 결론

공구동력계를 이용하여 롤금형의 각 가공조건 및 공구 상태별, 피삭재의 경도 별로 절삭력을 측정한 결과 절삭력 신호는 가공 부하 변화와 소재의 경도 변화 및 공구의 마모 상태 변화와 같은 가공 조건 및 상태의 변화에 따른 신호 변화 파악이 용이한 장점을 가지고 있다. 그러나, 공구동력계의 특성상 장시간 연속 측정 시 신호의 Drift 현상 발생 등에 대한 문제 해결이 필요하다. 공구동력계를 통하여 측정되는 절삭력 신호는 모니터링 시스템에 직접 적용에는 한계가 있으나, 여러 가지 가공 상태 변화에 대한 기준신호로써 활용이 가능할 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 지식경제부의 전략기술개발사업 “대면적 미세 가공시스템 기술개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. J. Chae, S.S. Park, T. Freiheit, “Investigation of micro cutting operations,” *Int J Machine Tools & Manufacture*, **46**, 313-332, 2006.
2. Y. H. Mu, N. P. Hung and K. A. Ngoi, “Monitoring a Sub-Newton Cutting Force for Ultra-Precision Machining,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **16**, 229 - 232, 2000.
3. 홍성민, 제태진, 이동주, 이종찬, “V 형 다이아몬드공구에 의한 연질소재의 미세절삭특성 연구,” *한국기계가공학회지*, 제 4 권, 제 4 호, 28-33, 2005.
4. 강익수, 정연식, 권동희, 김진하, 김정석, 안중환, “마이크로 엔드밀링에서 AE 신호를 이용한 공구상태 감시,” *한국정밀공학회지*, 제 3 권, 제 1 호, 64-71, 2006.
5. D. E. Lee, I. Hwang, C. M. O. Valente, J. F. G. Oliveira and D. A. Dornfeld, “Precision manufacturing process monitoring with acoustic emission,” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **46**, 176-188, 2006.
6. Hongli Gao and Mingheng Xu, “Intelligent Tool Condition Monitoring System for Turning Operations,” *Lecture Notes in Computer Science, Advances in Neural Networks – ISNN 2005*, 883-889, 2005.