

대면적 롤금형의 고심도 미세패턴 가공기술 개발

Machining Process Development of High Depth Micro Pattern on Large Surface Roll Mold

*이동윤¹, #이석우¹, 송기형¹, 박경희¹

*D. Y. Lee¹, #S. W. Lee(swlee@kitech.re.kr)², K. H. Song², K. H. Park²

¹한국생산기술연구원 충청권지역본부

Key words : Micro Machining, Micro Pattern, Tool Wear, Roll Mold, Diamond Tool

1. 서론

대면적 롤금형은 2 m급의 대면적 제품을 연속적으로 성형할 수 있다는 장점으로 인하여 최근 대면적화가 진행되고 있는 디스플레이 및 태양광 관련 산업의 핵심부품을 제조하기 위한 공정으로 많은 관심을 받고 있다. 대면적 롤금형은 요구하는 품질 수준에 따라 다양한 제품 제조에 사용할 수 있지만 LCD의 핵심부품인 프리즘 필름양산을 위해 사용되는 롤금형의 품질 수준이 가장 높으며 국내 LCD 산업의 발전과 더불어 현재까지 지속적인 발전이 이루어지고 있다.

프리즘 필름과 같은 광학 부품을 제조하기 위해 사용하는 대면적 롤금형은 길이가 2 m 이상이다. 대면적 롤금형에서 가장 중요한 품질은 균일도 확보이며, 이를 위한 연구들은 롤금형과 다이아몬드공구를 가공장비에 장착하고 적절한 가공조건을 선정하고, 가공 중에 환경변화로 인한 오차가 발생 하지 않기 위해 가공환경을 일정한 수준으로 유지하는 등의 다양한 분야가 있다. 본 논문은 최근까지 국내에서 수행된 대면적 롤금형 가공 공정과 관련한 내용을 소개하기 위한 목적으로 작성되었으며, 환경적인 관점에서 미세형상 가공 중에 발생하는 현상에 대한 지식에 기반을 둔 다이아몬드공구의 마모 현상과 실시간 가공공정 모니터링 기술을 다루고 있다.

2. 미세가공과 환경과의 관계

대면적 롤금형의 경우 가공면적과 미세패턴의 형상과 크기에 따라 짧게는 4-5시간에서 길게는 3주간의 가공시간이 필요로 하는 경우도 있기 때문에, 구리나 니켈로 도금하기 전 롤금형의 원소재인 강(Steel)의 높은 열팽창계수를 고려하면, 형상 정밀도 유지를 위해 가공이 이루어지는 영역의 온도

관리는 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 미세 패턴 가공위치 오차 원인을 온도 변화라고 가정하고 다음과 같은 실험을 통하여 온도의 영향을 살펴보고자 하였다. 본 실험은 1m급 롤금형을 장착할 수 있는 가공장비(Fig. 1)에서 실시되었으며, 본 장비는 회전 및 이송축에 모두 비접촉 유정압 베어링이 장착되어 있다. 가공오차를 유발할 수 있는 롤금형과 공구대간의 거리를 갭센서(Gap Sensor)를 이용하여 측정하면서 동시에 동작기계 4부분의 온도를 측정하였다. 스핀들 속도에 따라 발열량이 다를 것으로 예상되었기 때문에, 150rpm과 300rpm 두 경우에 대해서 측정하였다. 실험결과 150rpm과 300rpm 두 경우 모두 롤금형의 길이가 최대 0.7um 변형이 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 가공형상을 고려할 때 30° 예각형상을 나사선가공을 통해서 확보하기 위해서는 최소 3um의 가공깊이를 필요로 한다. 단, 5-6 시간이 지난 후에는 롤금형 길이 변형량이 0.3um 이내로 안정화 되는 경향을 보이므로, 보다 정밀한 가공이 필요한 경우에는 가공기의 고유 특성인 열적 안정성 확보 시간에 대한 숙지가 반드시 필요하다.

3. 마이크로 그루빙(Grooving) 시뮬레이션

최근 컴퓨팅(Computing)기술의 급격한 발전으로 가공 공정 시뮬레이션을 통한 공정 연구가 늘어나고 있다. 대표적인 방법으로 이론적(Analytical) 모델, 기계학적(Mechanistic) 모델, 분자 동역학(Molecular dynamics, MD), 유한요소 모델 등이 있다. 그 중 유한요소 모델이 가공모델의 크기(마이크로)와 사용가능한 소재 구성(Constitutive) 모델을 고려할 때 가장 유용하다 [1-3]. 유한요소 모델은 주로 절삭력, 칩 형성(chip formation), 가공응력,

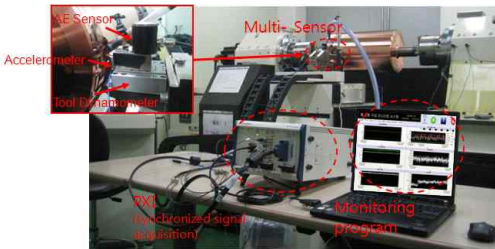


Fig. 1 Real-time monitoring system

가공온도, 버 형성(burr formation) 등을 예측하기 위해 사용된다. Fig. 2는 Abaqus 소프트웨어를 이용한 마이크로 그루빙(Grooving) 시뮬레이션 모델을 나타내었고, Abaqus에서는 Fig. 2(a)에 나타내었듯이 공구의 접촉 응력을 계산할 수 있고 이를 이용하여 공구 마모 메커니즘을 연구할 수 있다[4]. 한편 가공 공정에서 가공조건(Rake Angle 등)에 따른 응력집중과 변형율을 이용하여 최적 가공조건을 찾을 수 있다.

4. 실시간 공정모니터링 시스템 구축

대면적 롤금형 가공은 미세한 크기의 패턴을 넓은 영역에 가공해야 하므로, 가공에 많은 시간이 소요되므로, 롤금형 하나를 가공 실패할 경우의 시간적, 경제적인 손실은 매우 크다 하겠다. 그러므로 모니터링 시스템의 구축을 통하여 각 가공 차수마다 발생된 이상 상태에 대한 판단 결과를 반영하여 다음 공정을 계획함으로써 롤금형 가공 실패로 인한 시간적, 비용적 손실을 감소시킬 수 있다.

미세 패턴 가공에서의 공정 모니터링은 그 절삭 부하의 미세함으로 인하여 어려움이 많음은 이미 많은 선행 연구들을 통하여 알려진 바 있다[5]. 그래서, 본 연구에서는 미세 패턴 가공 공정상에서의 미세한 차이로 인한 불균일한 가공 상태 발생에 대한 감지를 위하여 단일 센서가 아닌, 여러 가지의 센서를 이용하였다. 공구동력계, 단축/3축 진동센서, AE센서 등의 센서들을 이용하여 취득한 신호에 대하여 시간동기화를 통한 분석으로 이상 상태를 감지하는 시스템을 구축하였다. Fig. 1은 본 연구를 통하여 개발된 모니터링 시스템을 보여준다.

5. 결론

본 연구를 통해 대면적 롤금형의 가공공정 기술에 대한 국내 기술 개발 동향을 소개하였다. 본 연구의 수행결과로 가공환경 및 가공기 안정화를 통하여 2 m급 롤금형의 고균일 가공공정 기술이

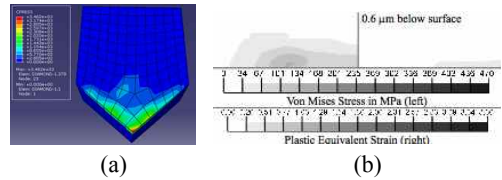


Fig. 2 Contact stress (a) and surface stress/strain (b)

확보되었으며, 시뮬레이션 및 모델링 기술을 통하여 깊이 100 μm 이상의 렌즈롤러 렌즈형상을 갖고 있는 미세패턴 가공기술이 확보되었다. 향후 지속적인 연구개발을 통하여 250 μm 이상의 예상형상을 갖는 대면적 미세패턴 롤금형의 실용화 및 가공수율 향상을 추진할 예정이다.

후기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업인 “대면적 미세 가공공정 원천기술 개발”과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Bourne, K.A., Kapoor, S.G., and DeVor, R.E., "Study of the Mechanics of the Micro-Groove Cutting Process", Proc. of the 2011 ASME MSEC2011, paper 50076, 2010
2. Bourne, K.A., Kapoor, S.G., and DeVor, R.E., "Machining Micro-Scale Grooves Using a Flexible Single-Point Cutting Tool", Proc. of the 5th Int. Conference of Micro Manufacturing, paper 1857, 2011
3. Zhu, P., Hu, Y., Ma, T., and Wang, H., "Study of AFM-based nanometric cutting process using molecular dynamics", Applied Surface Science, 256, pp. 7160-7165, 2010
4. Park, K.-H., Lee, D., Song, K., Nam, S. and Lee, S., "Study on tool wear behavior of single crystal diamond (SCD) in micro cutting of nickel plated roll die", The 2nd International Symposium on Hybrid Materials and Processing (HyMaP 2011), Oct. 27-29, 2011, Busan, Korea.
5. Lee, D.E., Hwang, I., Valente, C.M.O. Oliveira, J.F.G. and Dornfeld, D.A. "Precision manufacturing process monitoring with acoustic emission"; In: International Journal of Machine Tools & Manufacture, pp. 176-188; Elsevier Ltd. 2005