

다조나선가공법을 이용한 미세 프리즘패턴 롤 금형 가공 연구

A Study on Micro Prism Pattern Roll Mold Processing using Cutting Method of Multiple Screw Thread

*박상천¹, #제태진², 노진석², 최두선², 황경현²

*S. C. Park¹, #T. J. Je(jtj@kimm.re.kr)², J. S. Noh², D. S. Choi², K. H. Whang²

¹ 과학기술연합대학원대학교 나노메카트로닉스과, ² 한국기계연구원 나노기계연구본부

Key words : Ultra-precision machining system, Diamond cutting tool, Copper coated roll mold, Micro-prism pattern, Fabrication method.

1. 서론

최근에 대형TV, 옥외용 광고판등 대형LCD의 수요가 증가하고 있으며, 이에 따라 LCD의 주요 광학 부품인 도광판(BLU : Back Light Units)의 무결점 대면적화와 휘도향상을 위한 기술개발의 필요성이 대두되어지고 있다^[1-2]. 이러한 디스플레이의 대형화 추세에 따라 대면적용 필름을 연속적으로 성형할 수 있는 프리즘 패턴 롤 금형의 가공기술이 발전하고 있다. 본 연구에서는 이러한 대형 미세 프리즘 패턴 롤 금형 가공기술의 개발을 위해 1조, 2조, 3조 나사산의 가공법에 따라 발생하는 가공특성과 가공되어진 미세 프리즘 패턴의 형상을 비교분석하여, 모아레 현상(moire effect)등 빛 간섭의 문제점을 줄이는 다양한 형상의 패턴^[3-4]을 가공할 수 있는 다조나선가공기술을 확립하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 미세 프리즘 패턴 롤 금형 가공시스템의 모습과 장치 구성도이다. 본 시스템은 회전하는 C축, 절삭방향으로 이송하는 X축, 롤의 길이방향으로 이송하는 Z축으로 이루어져 있다. C축은 유정압 베어링이 장착된 스피들(spindle)이며, X-Y축은 리니어 모터(linear motor)로 구동된다. FANUC 31iT-A의 컨트롤러에 의해 제어되며, 연속적으로 절삭되는 칩을 제거 하기위해 진공흡입 장치와 흡입 관(suction pipe)을 제작하여 설치하였다. C축은 0.001°~0.0001°로 회전 각도를 분할 수 있고, X-Y축은 10nm의 정밀도를 가진다.

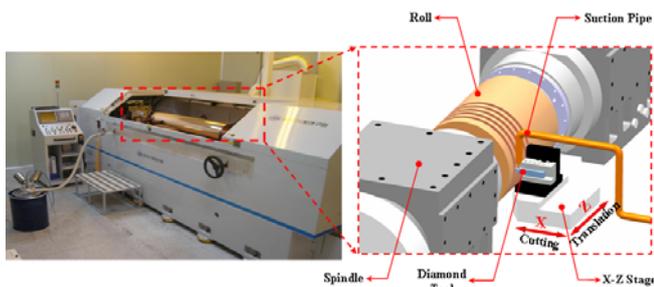


Fig. 1 Roll mold processing system

2.2 공구제작 및 가공조건

Fig. 2는 본 연구를 위한 미세 프리즘 패턴의 형상과 천연 다이아몬드공구의 모습이다. 설계된 프리즘 패턴은 보편적으로 사용되는 도광판용 필름의 패턴으로 피치는 50 μ m, 깊이는 25 μ m, 프리즘의 각은 90°이다. 이러한 형상의 패턴을 가공하기 위해 공구의 각이 90°인 천연 다이아몬드공구를 제작하였다.

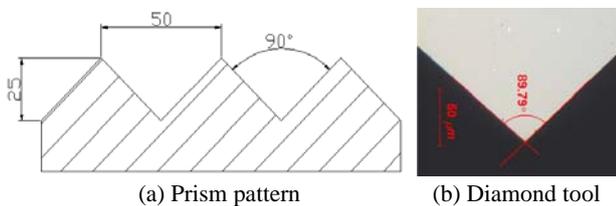


Fig. 2 Prism pattern and diamond tool for experiment

실험에 적용된 조건은 Table 1과 같다. 롤을 300rpm의 속도로 회전시키며 공구의 이송속도는 롤의 1회전 당 피치(μ m/rev)로 한다. 절삭에 사용된 가공피치는 패턴의 피치에 다조 나사산의 나사산 조 수(N)를 곱한 것이다. 길이 1200mm의 전기 동도금부에 가공부의 길이는 1000mm으로 한다. 가공깊이는 10 μ m, 10 μ m, 5 μ m, 3 μ m으로 4번 분할하여 총 28 μ m의 깊이로 25 μ m의 V홈 가공을 한다. 마지막 절삭 깊이인 3 μ m은 오버절삭깊이(over depth)로 패턴의 산부분이 미 가공되는 것을 막기 위한 것이다.

Table 1 Conditions of machining process (N: Number of thread)

rpm	Pitch	Length	Cutting depth			
			10 μ m	10 μ m	5 μ m	3 μ m
300	50 μ m \times N	1000mm	10 μ m	10 μ m	5 μ m	3 μ m

Fig. 3은 롤의 사양을 나타낸다. 제작된 롤의 중량은 약 185kgf 이고 총 길이는 1600mm, 전기 동도금부는 1200mm, 지름은 300mm이다. 전기동도금부의 경도는 약 240HV 이다. 또한 롤의 회전 발란싱(balancing)은 1000rpm에서 0.2gf가 되도록 제작 하였다. 1200mm의 동도금부 중의 1000mm의 범위에 미세 프리즘 패턴을 가공한다.

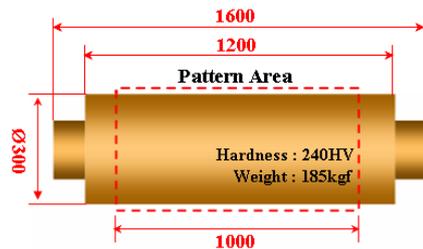


Fig. 3 Specification of copper coated roll

Fig. 4는 본 연구에서 이용한 다조 나사산 가공방법을 나타내고 있다. 회전각도 분할에 의한 다조나사 가공방법으로 첫 번째 가공을 시작한 롤의 회전각도 위치를 0°로 하여 가공을 한다. 형성하고자 하는 패턴의 피치에 나사산 조 수를 곱하여 가공피치의 형상을 가공한다. 두 번째 나사산 산을 형성하기 위해서 360°의 각도를 나사산 조수로 나누어 그 각도 값을 두 번째 회전각도의 위치로 하고 두 번째 가공을 시작한다. 이와 같은 방법을 나사산 조 수만큼 반복하면 다조 나사산 가공이 된다.

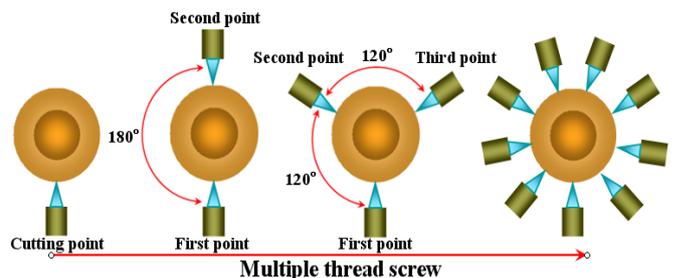


Fig. 4 Machining method of multiple thread screw

3. 실험결과 및 고찰

나사산을 길이 1000mm의 가공범위에 가공하는 것을 각각의 패스(path)라 하고, 1조의경우는 4 패스의 가공으로 완료되어지며 2조의 경우는 8패스의 가공을 해야 하고, 3조의 경우는 12패스의 가공을 해야 한다. 이러한 가공 횟수의 증가는 Table 2에서 보여주는 가공 방법에 따른 특성을 결정한다.

Table 2는 지름이 300mm인 롤을 300rpm으로 회전시켜 패턴 피치 50 μ m을 1000mm의 범위에 1조, 2조, 3조 나사산 가공법에 따른 공정결과들을 보여주고 있다. 식 (1)을 이용하여 계산한 가공 피치의 경우 1조에서는 50 μ m, 2조에서는 100 μ m, 3조에서는 150 μ m으로 1조를 기준으로 나사산의 조수의 배수로 증가한다. 가공속도는 식 (2)를 통하여 계산되어지며, 1조 15mm/min을 기준으로 2조에서는 1조의 가공속도의 2배인 30mm/min, 3조에서는 3배인 45mm/min의 속도로 절삭되어진다. 한 패스 당 가공되어진 칩의 길이는 공구의 사용 길이 혹은 절삭 길이와 같다. 식 (3)의 계산을 통해 1조의 경우 18.85km이고, 2조의 경우 1조의 반절인 9.42km인 길이의 칩이 가공되므로 칩 배출시 문제가되어지는 칩 흡입관의 막힘 문제와 칩 말림 현상에 의한 패턴 손상의 문제점 등이 줄어들었다. 역시 3조의 경우 1조의 칩 길이의 1/3이고, 2조의 칩 길이의 2/3인 6.28km인 칩이 가공되어 2조보다도 짧았으며 칩 막힘, 칩 말림문제점 등이 2조보다도 줄어든다. 식(4)를 통해 한 패스를 가공하는데 걸리는 시간은 1조의 경우 66.7min 2조의 경우 1조의 반인 33.3min, 3조의 경우 1조의 1/3인 22.2min의 시간이 소요된다. 식(5)는 총 가공 시간, 식(6)은 총 칩의 길이의 계산식이다. 가공의 완료를 기준으로 보면 1조, 2조, 3조 모두 총 칩의 길이는 75.4km가 되고, 총 가공시간은 4.45hour로 가공 방식에 따른 변화가 없음을 알 수 있다.

Table 2 Characteristics of machinability with machining type

Type of screw thread	Cutting pitch (μ m)	Feedrate (mm/min)	Length of chip at one path (km)	Path time (min)	Total chip length (km)	Total cutting time (hour)
Single	50	15	18.85	66.7	75.4	4.45
Double	100	30	9.42	33.3	75.4	4.45
Triple	150	45	6.28	22.2	75.4	4.45

$$P' = P \times N \tag{1}$$

$$F_r = P' \times R \tag{2}$$

$$L = \pi D \times \frac{L'}{P} \tag{3}$$

$$T = \frac{L' \times 60}{P \times R} \tag{4}$$

$$T_t = T \times N \tag{5}$$

$$L_t = \pi D \times \frac{L'}{P} \tag{6}$$

여기서 언급된 변수는 다음과 같다.

- P : 패턴 피치 (pattern pitch)
- P' : 가공 피치 (cutting pitch)
- N : 나사산 조 수 (number of thread)
- F_r : 가공속도 (feedrate)
- R : 롤의 분당 회전수 (rpm)
- L : 가공길이 부분 길이 (length)
- L' : 한 패스 당 절삭 칩 길이 (length of chip at one path)
- L_t : 총 절삭 칩 길이 (length of total chip)
- D : 롤의 지름 (diameter of roll)
- T : 한 패스 당 가공시간 (cutting time at one path)
- T_t : 총 가공시간 (time of total cutting)

Fig. 5는 다조 나사산 가공법을 통하여 가공되어진 결과이다. Fig. 5(a)는 1조, Fig. 5(b)는 2조, Fig. 5(c)는 3조 나사산 가공법으로 가공된 미세 프리즘 패턴이다. 1조, 2조, 3조 나사산 가공법에 의해 가공된 가공면의 모두 매끄러운 골과 산을 관찰할 수 있었다. 회전각도 분할 가공을 하면 이종산 발생과 훼손된 패턴을 형성하는 문제가 발생할 수 있다. 그러나 본 실험의 3조까지의 다조 나사산 가공법에 따른 가공결과 패턴의 형상에 큰 무리가 없음을 확인하였다.

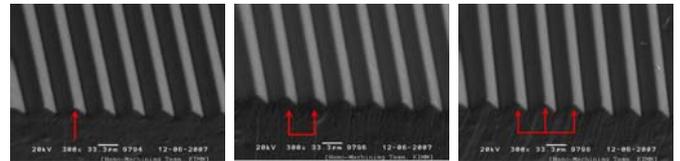


Fig. 5 Machined surface of prism pattern with machining method

Fig. 6은 다조 나사산가공법을 통해 얻어진 칩의 모습이다. Fig. 6(a)는 1조 나사산 가공법에 따라 가공했을 때 발생한 칩이고, Fig. 6(b)는 2조로 가공된 칩이며, Fig. 6(c)는 3조로 가공된 칩이다. Fig. 6(a)는 칩의 면이 매우 깨끗한 것을 관찰할 수 있고, Fig. 6(b)와 Fig. 6(c)의 칩에서는 Fig. 6(a)의 칩보다 상대적으로 매끄럽지 않은 표면을 볼 수 있다. 이러한 원인으로 다조 나사산을 가공하면서 증가한 나사산 조 수에 의해 가공 피치가 커지고 절삭속도가 빨라졌기 때문에 사료된다. 그러나 Fig. 5와 각각 비교해 보면 패턴의 형상에는 큰 영향을 미치지 않은 것으로 보여 진다.

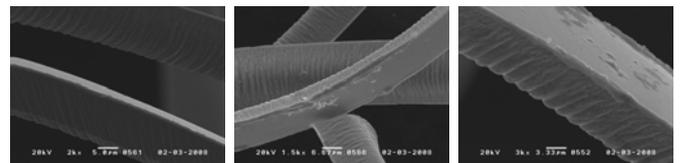


Fig. 6 Chip formations with machining method

4. 결론

1. 본 연구에서는 다조 나사산 가공법에 따른 가공특성을 알아보기 위해 1조, 2조, 3조 나사산 가공법에 따른 칩의 길이 가공시간 가공속도 등을 비교 분석하였다.
2. 2조와 3조 나사산 가공의 경우 패스 당 칩의 길이가 줄어 칩 배출이 용이해져 흡입관에 칩 이 막히는 현상과 칩의 말림 현상들이 줄어들었다는 것을 알았다.
3. 1조, 2조, 3조로 가공되어진 패턴은 나사산 수의 증가에 따른 가공 피치의 증가에 관계없이 양호한 가공 표면을 보였다. 따라서 대면적 롤 다조 나사산가공법이 대면적의 다양한 응용패턴을 가공할 수 있는 가공법임을 확인하였다.

후기

본 연구는 한국기계연구원의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 제태진, 최두선, "평삭에 의한 대면적 미세패턴 금형 가공기술 연구," 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, 777~778, 2007.
2. 유영은, 홍성민, "프리즘 패턴의 기계적 절삭 가공," 한국소성가공학회지, 15권 제1호, 71~75, 2006.
3. 정도영, 정주영, "광산란 도광관을 위한 prism film의 최적화," 한국광학회 하계학술 발표회논문집, 290~291, 2001.
4. 사중영, 박종렬, "다변 광원 도광관에 대한 연구," 대한기계학회 논문집 A권 제29권 제3호, 361~368, 2005