

타원진동절삭가공법에 의한 스테인레스강의 렌티큘러패턴 가공 Lenticular Patterning of Stainless Steel by Elliptical Vibration Cutting

*#송영찬¹, 윤경수¹, 송창규¹, 채중훈², 류진호²

*#Y. C. Song(ycsong@kimm.re.kr)¹, K. S. Yun¹, C. K. Song¹, J. H. Chae², J. H. Ryu²

¹한국기계연구원 나노융합생산시스템연구본부, ²조폐공사 정보기술연구소

Key words : Elliptical vibration cutting, Lenticular pattern, Stainless steel

1. 서론

최근, 유럽 각국에서는 PC(폴리카보네이트)카드에 레이저 마킹을 적용한 ID 카드를 생산하고 있다. 이 ID 카드에는 높은 위변조 방지대책을 필요로 하며, 그 중에서도 가장 보안이 강화된 것이 카드 표면에 렌티큘러패턴을 적용하고 그 위에 레이저로 MLI/CLI 를 형성시킨 것이다. 현재 우리나라를 비롯한 대부분의 나라는 D2T2(Dye Diffusion Thermal Transfer) 방식의 칼라사진을 ID 카드에 적용하고 있으나, 칼라프린터의 보급으로 인하여 위변조에 취약하게 되었고 내구성이 미흡하여 레이저 마킹을 적용한 ID 카드로 변화되고 있다. ID 카드에 렌티큘러 패턴을 적용하기 위하여는 카드를 스테인레스 경면판에 음각으로 렌티큘러 패턴을 가공하는 공정이 필요하다.

한편 저자^{1,2} 등은 타원진동절삭가공법을 고안하여 여러 난삭재료의 초정밀 절삭가공에 대한 연구성과들을 발표해왔다. 본 연구에서 가공기술을 개발하고자 하는 대상 재료인 스테인레스강에 대해서도 이미 초정밀가공을 실현하였다.

본 연구에서는 스테인레스강에 렌티큘러 패턴을 가공하는 기술을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. 가공표면은 초정밀 급의 경면까지는 필요로하지 않으므로 기초실험을 통해 cBN 공구를 사용하여 공구에 진동을 가하지 않는 일반 정밀절삭가공을 수행한 결과, 공구 여유면의 심한 마모로 인해 2 개 이상의 패턴을 가공하기가 곤란할 것으로 판단되었다. 본 논문에서는 타원진동절삭가공법을 적용하여 가공실험을 수행한 결과를 발표한다.

2. 실험방법 및 조건

실험은 항온항습실(실온 21±0.5°C, 습도 50±0.5%)에 설치된 4축 대면적 미세형상가공기를 사용하였으며, Fig. 1에 가공실험 셋업 사진을 나타내고 있다. 본 실험에서 사용한 가공기는 400mm×400mm의 면적을 가공할 수 있는 대면적 미세형상 가공기로 X, Y, Z, C 축의 4축 구조이며 모두 유정압 베어링과, 기본 5nm에 1nm까지 확장 가능한 레이저 스케일을 채용하고 있다. 또한 직선이송 축은 모두 리니어 모터를, C 축은 빌트인 모터를 채용하고 있다. 한편 본 실험에서 C 축은 사용하지 않았다. Z 축 테이블에 고정된 공구진동자는 약 15 kHz의 공진주파수와 약 0-2 μmP-P

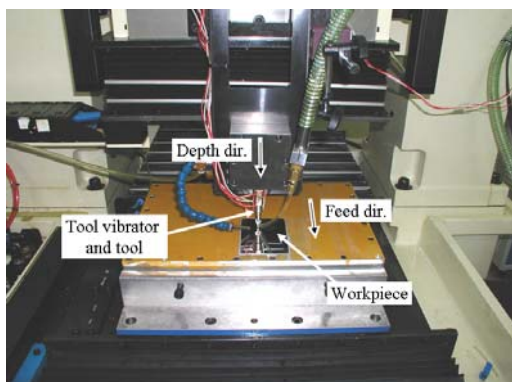
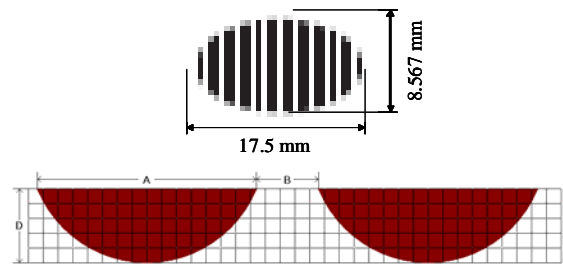


Fig. 1 Experimental setup

의 진폭을 안정되게 유지할 수 있는 성능을 가지고 있다. 단결정 다이아몬드공구를 사용한 철계재료의 초정밀절삭을 실현할 수 있는 가장 큰 요인은, 이와 같이 초음파 진동수의 초 단속적인 절삭공정을 이루었기 때문이다.

경면의 스테인레스 박판에 Fig. 2에 나타낸 것과 같은 타원형상의 렌티큘러패턴을 형성시키는 것을 본 실험의 목표로 하였으며, 패턴형상과 동일한 반경을 가진 공구를 사용하여 타원의 단축방향으로 홈 가공을 수행하므로 원하는 형상이 형성된다. 가공조건은 타원진동절삭가공법의 원리를 고려하여 0.1 m/min의 절삭속도로 가공실험을 수행하였



R : 80 μm, D : 50 μm, A : 148 μm, B : 42 μm

Fig. 2 Lenticular form

Table 1 Comparison of measured roughness data

Workpiece		Stainless steel
Tool	Material	Single crystal diamond
	Rake angle	0°
	Relief Rngle	15°
	Nose radius	0.08 mm
Cutting conditions	Cutting speed	0.1 m/min
	Depth of cut	5 μm/time
Tool vibration conditions	Locus	Circle
	Frequency	15 kHz
	Radius	1.0 μm
Cooling condition		No cooling

으며, 주요 가공조건들은 Table 1에 제시하고 있다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 타원진동절삭에 의해 가공된 렌티큘러패턴의 사진이며, 전체적으로 매우 안정되게 가공된 것을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 4는 이 패턴에 대해 고배율의 미분간섭 현미경을 사용하여 촬영한 확대사진이며, 이 경우 현미경의 초점 거리가 좁기 때문에 패턴의 골과 산 부분에 초점을 맞추어 각각 촬영하였다. Fig. 4에서 위 사진은 골에, 아

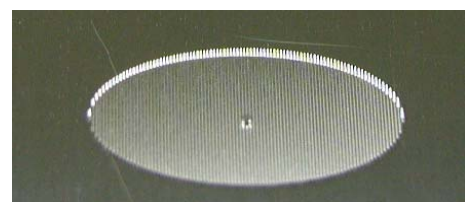


Fig. 3 Photograph of machined lenticular pattern

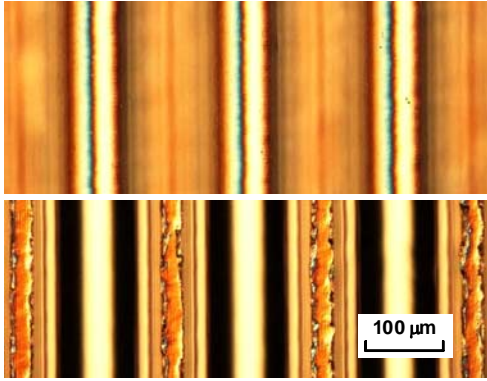


Fig. 4 Micro photograph of machined lenticular pattern

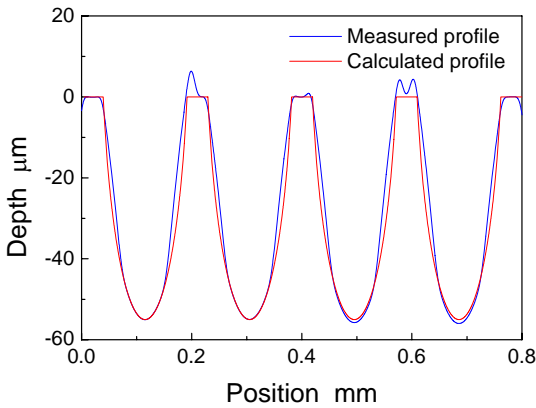


Fig. 5 Profile of machined lenticular pattern

래 사진은 산에 초점을 맞추고 있다. 골의 경우, 매우 안정된 형상을 유지하고 있음을 확인할 수 있으며, 공구의 급격한 마모나 마이크로 칩핑 등이 발생하지 않고 공구의 형상이 잘 전사된 것으로 판단된다. 산의 경우, 약간의 Burr가 발생하고 있으나 비 가공 영역인 평탄한 형상이 잘 유지되고 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 5에 초정밀 접촉식 표면형상 측정기(Form Talysurf PGI 1240, resolution: 0.8 nm @ 12.5 mm range)를 사용하여 가공한 렌티큘러패턴의 프로파일을 측정된 결과와 공구반경과 절입깊이를 변수로 하여 계산한 값을 제시하고 있으며, 매우 안정되게 가공된 것을 확인할 수 있다. 한편, 그림에서 패턴의 가운데 부분이 완전한 원호형상을 유지하지 못하고 있음을 확인할 수 있다. 이에 대해 공구의 형상에 오차가 있는 것으로 추측하여 분석한 결과, 이상이 없는 것으로 판명되었다. 본 가공실험에서는 얇은 가공물인 스테인레스 박판을 진공 척킹에 의해 고정하여 가공을 수행하였으며, 이 척킹 과정에서 박판에 휨이 발생한 상태에서 가공을 수행했기 때문에 가공오차로 전이된 것으로 추측된다. 다만, 렌티큘러 형상을 성형함에 있어 형상의 재현성이 더 중요한 인자이므로 이러한 형상오차는 큰 문제가 되지 않는다.

Fig. 6은 가공 후의 공구날 부분에 대해 미분간섭현미경으로 촬영한 사진이며, 여유면 마모는 확인되지 않으나 공구날 부분이 경미하게 마모된 것을 확인할 수 있다. 한편, 경사면에 절삭칩이 용착되어 있으며 이는 가공 중에 발생한 절삭열에 의한 결과이다. 본 가공에 있어서 과거의 타원진동절삭가공의 경험을 토대로 절삭액을 사용하지 않는 건식절삭을 수행하였다. 하지만, 본 가공의 경우 매우 작은 반경을 가진 공구로 깊은 홈 형상을 가공하게 되므로, 좁은 공구날 끝 부분에 절삭열이 집중되고 또한 방열이 어려운 조건이 된다. 따라서 이러한 패턴가공에 있어서는 오일 쿨링을 하면서 가공하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

위의 가공실험에서는 절입깊이의 영점 설정에 오차가

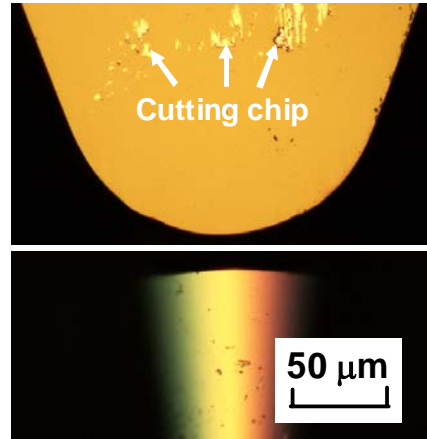


Fig. 6 Used cutting tool edge

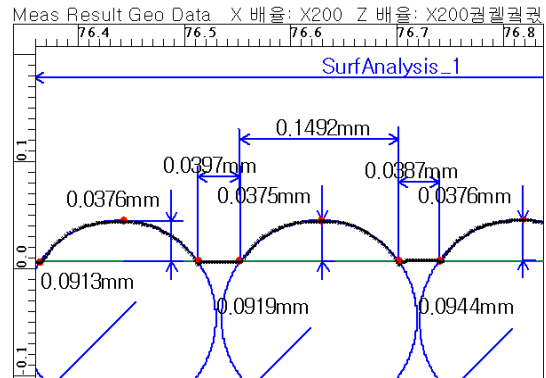


Fig. 7 Profile of formed lenticular by press forming with machined pattern

있어 목표 절입깊이보다 약 5 μm 더 깊이 가공되었으나, 이에 주의하여 재 가공을 수행하였다. Fig. 7은 재 가공한 패턴을 사용하여 폴리카보네이트 수지에 성형한 결과이며, 매우 안정된 렌티큘러 패턴이 재현성있게 성형되었음을 확인할 수 있다. 다만, 평탄부의 폭은 목표형상과 거의 일치하고 있으나, 패턴의 반경과 절입깊이는 목표 형상에 대해 약 10 μm의 오차를 나타내고 있다. 이는 프레스 성형에 의한 오차와 Fig. 5에서 설명한 형상오차에 의한 결과로 판단되며, 앞서서도 설명한 바와 같이 렌티큘러 형상을 성형함에 있어 형상의 재현성이 더 중요한 인자이므로 이러한 범위의 형상오차는 큰 문제가 되지 않는다.

4. 결론

이상의 가공실험을 통하여 스테인레스 박판에 렌티큘러 패턴을 형성시키기 위하여 타원진동절삭가공을 적용하였다. 그 결과, 큰 공구마모 없이 매우 안정적으로 패턴을 형성시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 본 실험에서는 원하는 형상을 하나만 가공하였으나, 실제로는 대형 스테인레스 박판에 수십 개의 패턴을 가공하여야 하므로, 대형 박판의 고정방법, 공구마모, 사이클 타임 등에 관한 인자들을 고려하여 추가실험을 수행할 예정이다.

참고문헌

1. Shamoto, E. and Moriwaki, T., "Ultraprecision Diamond Cutting of Hardened Steel by Applying Elliptical Vibration Cutting," Annals of the CIRP, Vol. 48, No. 1, pp. 441-444, 1999.
2. Song, Y. C., Tanaka, K. and Moriwaki, T. "Mirror Finishing of Co-Cr-Mo Alloy by Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting Method," Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 56-62, 2008.