

적층된 구리 박판의 코너 큐브 패턴의 가공

이준용*, 배찬열*, 김창호**,#

*미래나노텍, **동의대학교

Machining of Corner-cube Pattern on Accumulated Cu-Thin Plates

Joon-Yong Lee*, Chan-Yeol Bae*, Chang-Ho Kim**,#

*MN Tech. Co. Ltd., **Department of Mechanical Engineering, Dong-Eui University
(Received 20 April 2016; received in revised form 12 May 2016; accepted 23 May 2016)

ABSTRACT

This study presents the optimal hardness range for a coated layer of a workpiece when the diamond tool cuts the corner-cube pattern on the coated plates using an ultra-precision diamond-turning machine.

Two kinds of coated plates, which have the hardness range of 211~328 Vickers hardness, are used on the first experiments. The form accuracy for the corner-cube pattern could be achieved through the following experiments using the accumulated thin copper plates in second experiments, having optimal 265~275 Vickers hardness based on the basic first experiments without tool wear. When the number of machining adjustments was increased to seven times, having machining depth was reduced successively in second experiment, a fine surface could be achieved without tool wear.

Key Words : Form Accuracy(형상정밀도), Corner-cube(코너 큐브), Diamond Turning Machine(DTM, 다이아몬드 선삭기),

1. 서 론

전자 기계 부품분야에서 널리 사용되고 있는 초정밀 미세 금속가공 기술은 가공 장비, 가공방식, 소재 등에 의한 가공정밀도에 따라 가공품질이 확연한 차이를 보인다.^[1] 가공 시 고품질에 안정적인 재연성이 확보되어야 산업에서는 양산화에 적용이 가능한 상품을 생산해 낼 수 있다.

서브 마이크론의 V자형 혹은 U자형의 마이크로 홈의 회절격자가 형성되어 있는 홈 가공을 위해서는 나노미터 수준의 이송제어가 가능한 초정밀 가

공기와 다이아몬드공구가 요구된다.

초정밀 광학용 필름은 코너큐브 프리즘(corner-cube prism) 형상의 재귀반사(retro-reflection) 필름으로 차량의 후미 안전 표식, 공사현장의 안전 기구물, 도로의 교통 표지판, 중앙선의 배색 등 도로 교통이나 산업 안전 분야 등이나 광고판에 널리 사용되고 있다. 코너큐브 프리즘 패턴 가공은 수 나노미터의 표면조도와 수 마이크로미터 이내의 형상 오차가 요구되는 초정밀 광학부품제작 공정을 활용하여 이루어진다.^[1-3]

광학용 형상 가공 소재로는 주로 Cu, NiP 등이 있으며, Cu 모재는 절삭 가공 시 가공 품질이 우수하여 절삭 가공 공구(Tool)의 마모도가 다른 금형 소재 대비 최소로 발생하며 이에 따라 보편적으로 사용되고 있다.

Corresponding Author: chkim21@deu.ac.kr

Tel: +82-51-890-1651, Fax: +82-0505-182-6891

본 연구는 초정밀 선삭기(Diamond Turning Machine)에서 천연다이아몬드 절삭 공구를 이용하여 재귀반사용(retro-reflection) 광학필름에 적용되는 코너 큐브 형상을 정밀하게 평삭가공하기 위한 실험을 3차에 걸쳐 실시하였다. 기초 실험에서는 20mm 두께의 저탄소강(SM 10C)의 모재 상단에 각각 800 μ m 두께로 Cu 및 NiP로 다양한 경도로 전기도금한 뒤 도금 층의 경도가 형상 정밀도에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

기초 실험결과를 근거로 가공표면이 우수한 도금 층의 최적의 경도를 결정한 뒤, 최적의 경도를 갖는 구리 박판 수 십장을 겹친 뒤 고정된 적층 판재를 개선된 실험용 소재로 선정하였다. 개선 실험된 1,2차에서는 절삭횟수 및 절삭 깊이가 형상정밀도에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 이론적 배경

코너큐브 프리즘의 원리는 Fig. 1과 같이 입광면으로 들어온 입사된 빛(incident ray)이 임계각 허용범위에서 후면으로 빛들이 통과되며 통과된 빛들은 형상의 내부에서 3면이 이루는 각도에 따라 내부반사가 일어나 다시 입사한 방향으로 빛이 되돌아 나간다.^[2]

P₁에서부터 P₅는 형상을 이루는 꼭지점과 밀변의 중심점을 표시하는 것으로 내부로 입사된 빛은 내부반사 후 들어온 동일 방향으로 오차 없이 되돌아가는 이동경로가 이상적인 광특성이다.

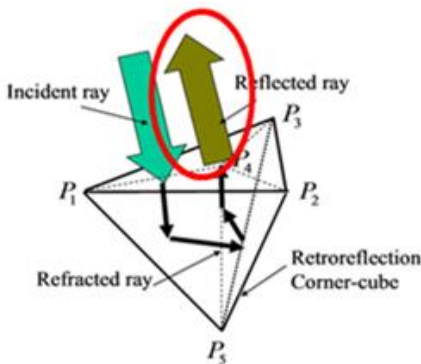


Fig. 1 Retro-reflection by corner-cube prism

성형용 재료에 따라 적절한 모재를 선택해야 하며 사출성형을 위한 금형모재로 Cu 모재나 NiP 모재의 경우가 주로 사용되고 있다.

절삭 깊이에 대한 절삭력이 증가하여 이로 인해 절삭 공구에 누적 피로도 증가와 가공 표면에 버 발생 확률이 증가한다. 그 외 절삭공구의 각도가 예각일 경우 둔각보다 가해지는 표면 마모에 대한 절삭 공구의 파손 가능성이 높아진다. 또한 절삭이 진행 되는 동안 절삭 칩이 가공 표면에 잔류하여 가공 경로에 절삭력이 증가되어 절삭공구와 표면의 추가 손상 요인이 발생 할 수도 있다.^[4,5] 이와 같이 가공 목적물의 형상에 따라 적용되는 모재, 절삭 방식 등 주요 인자들에 대한 변수를 최소화하여 절삭이 이루어져야 이상적인 가공품을 확보할 수 있다.^[6-8]

3. 실험 방법

3.1 실험 장비

실험에 사용한 장비는 초정밀 선삭기(Nachi Co., AMG- 62P)로 사양은 Table 1과 같다.

가공된 형상은 선삭기에 장착된 공구현미경과 공초점 현미경(Kenycence Co. VK-9500)으로 결과를 분석하여 개선 여부를 확인하였다.

코너큐브 프리즘 가공은 Fig. 2와 같이 삼각뿔을 이루는 형상으로 C축을 3방향으로 회전하며 분할 가공하는 방식으로 공구는 고정된 채 테이블을 한 방향으로 이송하면 1차 V홈이 가공된다.

Table 1 Experimental apparatus

Main specifications(Nachi Co. AMG- 62P)		
Table (mm)	Working area (X × Y axis)	500 × 750
	C axis	Ø 300
Travel (mm)	X × Y × Z axis	750 × 600 × 100
Scale resolution		X, Y, Z : 0.001 μ m
		Angle : 0.0000275°
		C axis: 0.0001°

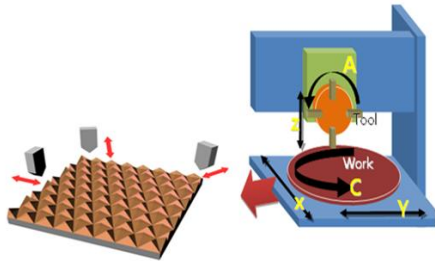


Fig. 2 Machining process for corner-cube pattern

그리고 테이블을 임의의 각도를 회전하여 1차 V홈의 후면에 2차 V홈이 절삭한 다음 테이블을 한 번 더 회전하여 이송하면 V홈 가공으로 사면체의 형상이 완성되는 가공 방식이다.

3.2 실험 방법

3.2.1 실험용 소재 및 공구

실험은 기초실험(primary test)과 개선실험(improved test) 1,2차로 나누어 진행하였다. 기초실험에서는 적절한 경도를 갖는 소재를 선정하고자 하였고, 개선 실험에서는 기초실험에서 얻은 소재를 기초로 실험하였다.

기초실험에서 사용된 소재는 Fig. 3(a)와 같이 20mm 두께의 저탄소강(SM 10C)의 모재 상단에 각각 800 μ m 두께로 Cu 및 NiP 2 종류의 재료로 전기 도금 하여 Cu 도금 층의 경도는 Fig. 3(a) 안의 (a)~(c)와 같이 211, 242, 268 Hv 3 종류, NiP 도금 층의 경도는 Fig. 3(a) 안의 (d)~(e)와 같이 304, 328 Hv 2 종류를 준비하여 가공깊이 15 μ m으로 1차 가공 실험하였다. 도금재료가 가진 고유의 경도가 있어 다양한 범위의 도금 층을 얻기가 현실적으로 거의 불가능하기 때문에 Cu 도금 층은 최고 268 Hv, NiP 도금 층은 최저 300 Hv 이상의 경도를 얻을 수 있었다.

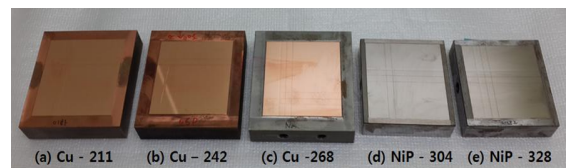
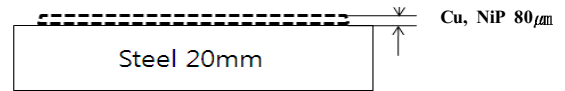
기초실험 결과, 경도 268 Hv의 도금 층에 실시한 가공표면이 가장 우수한 것으로 나타났다. Fig. 6(a) 와 같이 211 Hv에 절삭한 가공표면에 비해 경도 268 Hv 인 도금 층에 실시한 Fig. 6(b)의 가공표면이 훨씬 우수한 것을 알 수 있다. NiP 도금

층에 실시한 가공표면은 양호하였으나, Cu 도금 층에 비하여 30~60 Hv 높은 300~330 Hv 인 고경도의 도금 층이므로 절삭공구의 마모가 심해질 것으로 예상되어 제외하였다. 개선실험에 사용된 소재는 Cu 소재의 경도 270 \pm 5 Hv로 적용하여 Fig. 3(b)와 같이 두께가 0.4mm, 경도 270 \pm 5 Hv인 구리 박판을 수 십장을 겹친 뒤 고정된 적층 판재를 개선 실험용 실험 소재로 선정하였다.

Fig. 4는 코너큐브 프리즘을 제작하기 위한 사면체 설계도면으로 ABC로 이루어진 이등변 삼각형 과 꼭지점 D로 세 개의 이웃하는 면 T1, T2, T3로 구성되어 있다. T1, T2, T3 면들은 각각 이웃하는 면들과 사이 각이 90°에 근접한 예각으로 설계되었다.

Fig. 5(a)는 Fig. 4와 같은 코너큐브 프리즘을 제작하기 위한 공구의 설계도면으로, 다이아몬드의 두께는 1.79mm, 앞면 여유각 6°, 날끝각이 각각 63°, 83°(각도 공차는 0.1° 이내)이다.

Fig. 5(b)는 Fig. 5(a)와 같이 설계한 천연 다이아몬드 바이트를 초경합금에 용접한 일체형 공구이다.



(a) Coated steel plates with different coating material and hardness for the primary test



(b) Fixed Cu sheets for the improved tests

Fig. 3 Workpieces

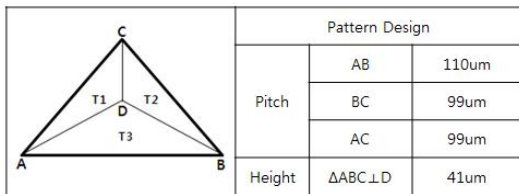
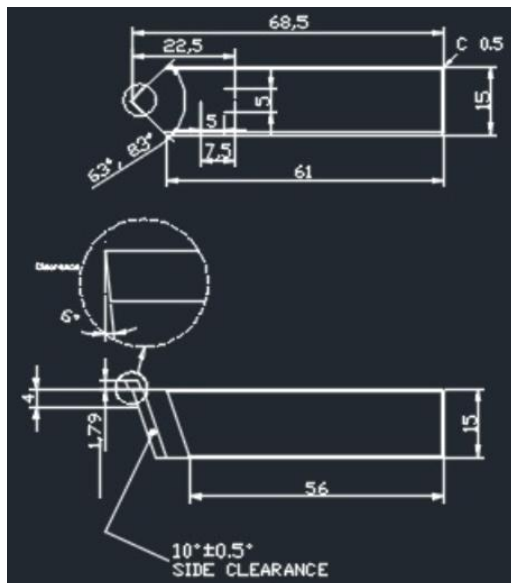
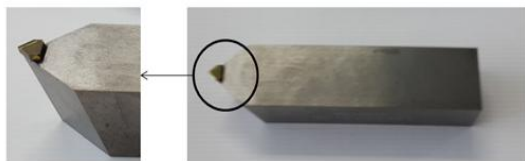


Fig. 4 Pattern design of corner-cube



a) Design of V-type Diamond tool



(b) Photograph of V - type Diamond tool

Fig. 5 Used diamond tool

3.2.2 가공 조건

Table 2는 각 실험의 가공 조건을 나타낸 것이다. 1차 실험(Primary test)은 4,000 ~ 8,000 mm/min의 절삭속도로 도금 층의 경도가 다른 5종(211~328)의 판재에 절삭 깊이 15 μ m로 가로 1회씩 가공한 뒤 절삭공구의 각도를 변화시켜 세로로 교

Table 2 Cutting condition

Test	Primary	Improved	
		1st	2nd
Workpiece	1) Cu coated plate	Accumulated Cu Pins	
	2) NiP coated plate		
Hardness (Hv)	211~338	265~275	
Cutting method (Pass/depth)	1pass/15um	5pass / 10+10+10	7pass / 10+10+10+
		+10+10u m	10+5+3+1u m

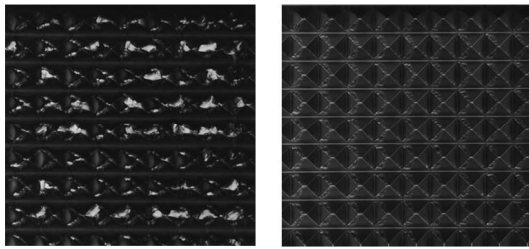
차 가공한 뒤 V홈의 형상이 우수한 도금경도를 찾고자 하였다.

개선 실험(Improved test)은 Fig. 3의 (b)와 같이 적층된 Cu 박판소재를 총 가공깊이가 50 μ m로 Fig. 2와 같이 3방향으로 교차 가공하였으며 코너큐브 프리즘을 1차 및 2차 실험으로 구분하여 가공하였다. 개선 1차 실험은 가공깊이 10 μ m씩 5회 가공하였으며, 개선 2차 실험은 처음 4회까지는 10 μ m씩, 4회 이후는 가공깊이를 감소시키면서 7회로 나누어 총 49 μ m의 가공깊이를 중첩 가공하였고 가공 중 발생하는 미세한 칩들은 공기로 제거하였다.

4. 실험결과 및 고찰

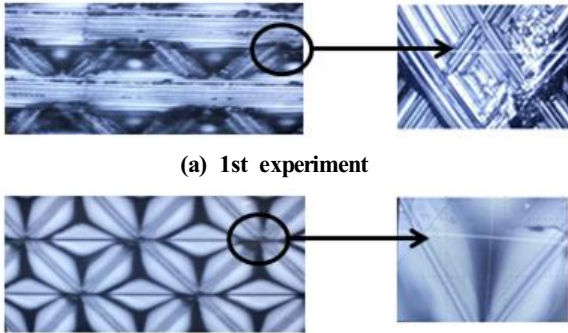
기초실험은 Fig. 6과 같이 20mm두께의 저 탄소강 판재위에 도금된 Cu, NiP 도금 층에 가공깊이 15 μ m로 1회 가공하였을 때의 형상정도를 측정하였다. Cu는 경도가 증가할수록 표면 손상은 개선되었으며 NiP는 Cu의 개선 품질과 동등 수준의 절삭 품질이 확인 되었다.

개선 실험 1차는 Fig.7(a)와 같이 가공 시 발생되는 칩들이 Fig. 6 과 동일하게 가공 홈의 일부 분에 부착되어 형상 불량 발생하였으나 개선 실험 2차는 Fig. 7(b)과 같이 두께 0.4mm의 Cu 박판을 적층한 소재를 이용하여 개선된 2차 실험 조건에 따라 총 절삭 깊이가 49 μ m인 형상을 7회 분할 가공과 가공층 별 칩 제거하며 가공한 결과 1차 실험에 비해 개선된 무결점 형상을 얻을 수 있었다.



(a) Hv 211 (b) Hv 268

Fig. 6 Shape image by the primary test



(a) 1st experiment

(b) 2nd experiment

Fig. 7 Machined surface by the improved experiments

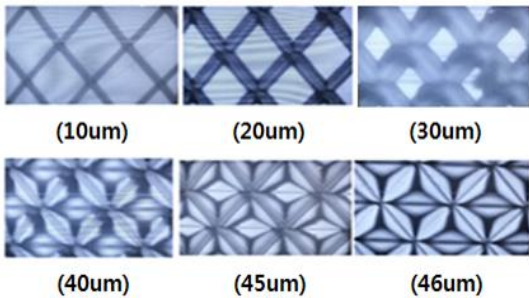
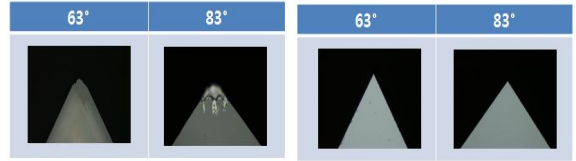


Fig. 8 Surface image due to machining depth (improved 2nd experiment)

Fig. 8은 개선 2차 실험에서 6회에 걸쳐 46 μm 까지 분할 가공할 때 각 깊이별로 성형된 형상을 보여주는 것으로 깊어질수록 코너 큐브 프리즘 패턴이 정밀하게 성형되어지는 것을 볼 수 있다.



(a) the first test

(b) the second test

Fig. 9 Comparison of tool wear according to the experimental method

Fig. 9는 개선 실험의 1차 및 2차 시험가공에 따라 사용한 2 종류의 공구 끝의 마모정도를 비교한 것이다. 적층된 Cu 박판에 1회당 10 μm 씩 5회에 걸쳐 총 50 μm 의 깊이를 가공한 1차 실험에서는 Fig. 9(a)와 같이 2 종류의 공구 끝의 마모가 진행되었다. 이것은 절삭 시 발생하는 충격이나 지속적으로 쌓인 칩들에 의해 공구 끝이 급속히 마모된 걸로 예상된다.

이와 달리 절삭 깊이를 총 49 μm 을 7회 분할 가공과 분할 가공 층별 공기압으로 칩 세척을 적용한 개선된 2차 실험에서는 Fig. 9(b)와 같이 거의 공구마모가 일어나지 않았다.

5. 결론

적절한 도금 층의 경도를 알기 위하여 저탄소강(SM 10C)의 모재 상단에 각각 800 μm 두께로 Cu 도금 층의 경도는 3 종류, NiP 도금 층의 경도는 2 종류를 가공깊이 15 μm 으로 기초 실험하였다.

기초 실험 결과를 토대로, 수십 장 적층한 구리 박판위에 개선된 1, 2차 실험을 실시하였다.

1) 기초 실험결과, Cu 도금 층의 경도가 265~275 Hv가 적절한 경도로 나타났다. NiP 도금 층에 실시한 가공표면은 양호하였으나, Cu 도금 층에 비하여 고경도의 도금 층이므로 절삭공구의 마모가 심해질 것으로 예상되어 개선된 실험에서는 배제되었다.

2) 265~275 Hv인 구리 박판(두께 0.4mm)을 수십 장 적층한 소재를 이용하여 개선된 방법으로 점차

그 깊이를 줄이면서 총 49 μm 을 7회로 분할하여 가공하였을 때, 1차 실험에 비해 거의 결점이 없는 형상을 얻을 수 있었다.

3) 절삭 시 발생하는 미세한 칩은 공기압으로 칩을 제거함으로 표면의 형상 정밀도 및 공구마모가 개선됨을 볼 수 있었다.

REFERENCES

1. Je, T. J., A Study on Micro Cutting Technology for Micro Part, A Thesis for Master, Kum-Oh National Institute of Technology, Republic of Korea, 2004.
2. Kim, H. and Lee, B., "Optimal Design of Retroreflection Corner-Cube Sheets by Geometric Optics Analysis," Optical Engineering, Vol. 46, No. 9, 094002, 2007.
3. Kim, H., Min, S. W., and Lee, B., "Geometrical Optics Analysis of the Structural Imperfection of Retroreflection Corner Cubes with a Nonlinear Conjugate Gradient Method", Applied optics, Vol. 47, No. 34, pp. 6453-6469, 2008.
4. Ko, J. B., Kim, G. H., and Won, J. H., "A Study on the Cutting Characteristics of Non-Ferrous Metals using Diamond Turning Machine", Transaction of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 10, No. 5, pp. 124-129, 2001.
5. Min, K. T., and Jang, H. S., "Cutting Chip and Surface Roughness in Micro Groove Cutting of Brass", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 9, No. 4, pp. 1-7, 2010.
6. Lee, J. M., Le, D., Kim, S. J., Lee, S. W., and Je, T. J., "Development of Micro Pattern Cutting Simulation Software", The Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 33, No. 3, pp. 218-223, 2009.
7. Kim, H. C., "Experimental Investigation on Machining Feasibility of Micro Patterns using a Single Crystal Diamond Tool", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 5, pp. 76-81, 2012.
8. Lee, J. Y., Kim, C. H., and Seo, C. W., "Plating Hardness and Its Effect to the Form Accuracy in Shaping of Corner Cube on Cu-Plated Steel Plate using a Single Diamond Tool", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13 No. 5, pp. 64-69, 2014.