

패턴 주변의 소성변형현상을 제거한 고품위 불연속패턴 가공기술 개발

전은채^{*#}, 제태진^{*}, 장성환^{*}

Development of machining technology for non-continuous pattern removing plastic deformation around pattern

Eun-chaee Jeon^{*#}, Tae-Jin Je^{*}, Sunghwan Chang^{*}

(Received 14 September 2010; received in revised form 3 November 2010; accepted 18 November 2010)

ABSTRACT

Patterned optical components are widely used for optical products such as LCD and lighting. Since CCFL was used as a light source in the products, prism films having linear continuous optical patterns were widely used. However, LED which is a dot light source is popular recently, therefore, the optical products need new optical components having non-continuous optical patterns. Indentation machining method is a powerful method for machining of non-continuous pattern. When a copper mold and a brass mold were machined by this method, severe plastic deformation called pile-up was observed around the patterns. Since pile-up has negative relationship to ductility, this deformation can be eliminated by annealing treatment which makes the materials ductile. No plastic deformation occurred when machined after annealing at 600°C and 575°C for copper and brass, respectively. Finally, non-continuous optical patterns with high quality were machined on a copper mold and a brass mold successively.

Key Words : Non-continuous pattern(불연속 패턴), Ultra-fine machining(초정밀 가공), Pile-up(파일업), Indentation(압입)

1. 서 론

LCD (Liquid Crystal Display), 조명 등의 빛을 사용하는 제품들은 제품의 특성에 따라 다양한 광학

부품을 사용한다. 특히 LCD는 스스로 빛을 내지 못하기 때문에 액정 후면에서 백색광을 내는 면광원(BLU, Backlight Unit)이 있어야하며, 이 면광원은 확산필름, 프리즘필름, 편광필름, 도광판 등 여러 종류의 광학부품을 사용한다[1,2]. 이중 프리즘필름은 여러 방향으로 퍼져 나가는 빛을 정면으로 모아주어서 정면 휘도를 획기적으로 향상시키는 광학부품이다. 이러한 광적 특성은 Fig. 1(a)와 같이 90도 내외의 각을 갖는 패턴이 한쪽 방향으로 길게 가공된 프리즘 모양의 연속패턴이 표면에 있기 때문에 발생한

* 한국기계연구원 나노공정장비연구실

교신저자 : 한국기계연구원 나노공정장비연구실

E-mail : jeonec@kimm.re.kr

다[3]. 패턴의 모양이 선형으로 되어 있기 때문에 LCD 제품 특성에 따라 패턴방향이 90도 회전한 프리즘 필름을 한 장 더 사용하기도 한다.

패턴의 형상이 선형인 이유는 BLU에 사용되는 광원이 CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp)이기 때문이다. CCFL은 일반 조명에서 널리 사용되는 형광등과 유사한 제품으로 모양을 기준으로 분류하였을 때 선광원에 해당된다. 따라서 선광원에서 올라오는 빛을 모아주기 위해서는 선 모양의 연속적인 패턴이 유리하다. 그러나 최근에 CCFL 대신 LED (Light Emitting Diode)를 광원으로 사용한 BLU가 등장하였고, 이를 사용한 TV 제품들이 선광적인 인기를 끌게 되면서 CCFL이 LED로 급격히 대체되고 있다. LED는 CCFL과는 달리 점광원 형태이기 때문에 LED가 위치한 곳은 매우 밝지만 그 외 지역은 어둡게 되므로 빛의 불균일이 매우 심하다. 따라서 LED가 있는 곳과 없는 곳의 패턴 밀도가 다른 불연속 패턴을 갖는 광학부품이 필요하다.

기존의 불연속 패턴 광학부품으로 Fig. 1(b)와 같은 Micro-lens array[4]가 있으나, 화학적 에칭 방법 등을 활용하여 제조하기 때문에 패턴 밀도를 자유롭게 조절할 수 없다. 또한 모양도 매우 제한적이다. 이러한 문제점을 해결해줄 수 있는 방법이 압입가공법이다. 기존의 압입시험법을 응용한 가공법으로서 위치에 따라 자유롭게 패턴 밀도를 조절할 수 있으며, 압입자를 교체하면 구형, 피라미드형, 원기둥형 등 다양한 패턴을 가공할 수 있다. 본 연구에서는 압입가공법을 사용하여 LED와 같은 점광원에 최적화된 불연속 광학패턴 가공기술을 개발하였다.

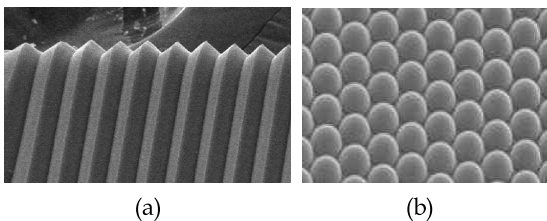


Fig. 1 (a) Prism pattern (b) Micro-lens array

2. 압입가공법

압입가공법은 기존에 경도(hardness), 탄성계수[5], 인장물성[6] 등을 측정하기 위해 사용해온 압입시험법을 응용한 가공방법이다. 브리넬경도 시험[7]이나 비커스경도[8] 시험과 마찬가지로 특정한 형태의 압입자를 사용하여 소재에 하중을 인가하고 제거한 후 남는 압흔을 광학패턴으로 사용하는 것이다. 항상 음각 형태의 압흔이 남게 되므로 양각 형태의 광학패턴을 갖는 제품을 쉽게 제조할 수 있다. 만약 음각 형태의 광학패턴을 갖는 제품이 필요하다면 양각 스탬프로 복제하여 사용하면 된다. 기존에 브리넬경도 측정에 사용하는 압입자는 구형이며, 비커스경도 측정에 사용하는 압입자는 사각피라미드 모양이다. 최근에 나노소재의 경도를 측정할 때 사용하는 Berkovich 압입자는 삼각피라미드 모양이다. 이외에도 원기둥 모양의 flat punch 압입자도 있기 때문에 다양한 형상의 패턴을 가공할 수 있으며, 다른 모양의 패턴도 압입자만 가공한다면 모두 가능하다. 패턴의 크기는 압입자의 크기에 따라 수십 μm 내외도 가능하다.

만들 수 있는 패턴의 모양이 다양할 뿐만 아니라 압전체 액츄에이터를 사용하면 수십 ~ 수백 Hz 이상의 속도로 패턴을 고속가공할 수 있기 때문에 불연속패턴 가공의 단점인 긴 가공시간도 축소할 수 있다. 또한 가공을 반복하여도 공구(압입자)의 마모 정도가 일반 기계 가공에 비해 적다는 장점이 가지고 있다. 따라서 LED와 같은 점광원에 필요한 불연속패턴 광학부품을 제조하기 위해 필요한 금형 가공에 있어서 가장 최적화된 방법이라고 판단된다.

3. 실험장치 및 조건

Fig. 2는 본 연구에서 압입가공에 사용한 장비를 타나낸 그림이다. 장비는 한국의 Frontics사에서 제작한 AIS2100 장비를 사용하였다. 본래 AIS2100 장비는 압입시험을 통해 인장물성을 평가하는 장비이지만 압입자를 자유롭게 교체할 수 있으며 정밀 스테이지를 부착할 수 있기 때문에 불연속패턴 가공을 위한 압입가공기로도 활용할 수 있다.



Fig. 2 AIS indentation tester

가공한 소재는 일반적으로 금형에 많이 사용되는 구리(순도 99.99%)와 황동(구리:아연=6:4, C28000 Muntz alloy)의 두 가지 소재를 사용하였다. 두 소재에 대해 계장화압입시험으로 유동특성을 평가[6]하였고, 그 결과를 표 1에 나타내었다. 불연속패턴 가공을 위해 초경합금으로 제작된 반지름 250 μm 의 구형압입자를 사용하였다. 다양한 크기의 불연속패턴을 가공하기 위해서 두 가지 소재에 대해 동일한 압입자로 압입깊이를 10 μm 에서 100 μm 에 이르기까지 10 μm 간격으로 총 10가지의 패턴을 가공하였다. 가공을 실시한 후 각 패턴에 대해 광학관찰을 실시하여 패턴의 정상 가공유무를 판정하였다.

Table 1 Mechanical properties of Cu and brass

Property	Cu	Brass
Elastic modulus (GPa)	86	103
Yield strength (MPa)	241	345
Tensile strength (MPa)	412	483

4. 실험결과 및 고찰

4.1 불연속패턴 형상 관찰

구리 소재에 대해 가공을 실시한 후 생성된 불연속 패턴을 관찰한 결과 Fig. 3과 같이 구형의 패턴은

형성되었으나 패턴 주변에 심한 소성변형이 발생하였음을 알 수 있었다. 황동 소재에 대해서도 관찰하였을 때 Fig. 4와 같이 유사한 현상이 발생함을 알 수 있었다. 금형 상에 가공된 패턴 주변에 이와 같은 불균일한 소성변형이 존재하면 이 금형을 사용하여 제조한 광학부품의 패턴에도 그대로 전사되기 때문에 금형으로 사용할 수 없다.

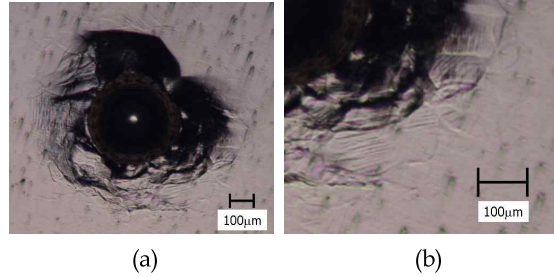


Fig. 3 (a) Plastic deformation around pattern of Cu and (b) its magnified shape

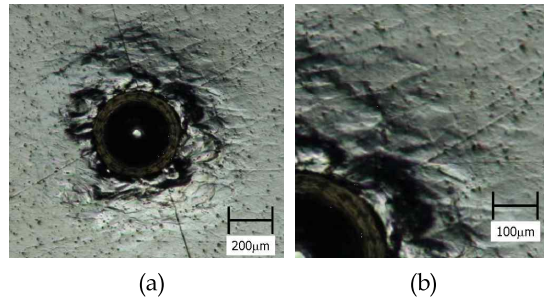


Fig. 4 (a) Plastic deformation around pattern of brass and (b) its magnified shape

4.2 불균일 소성변형 및 풀림처리

패턴 주변에 발생하는 불균일 소성변형 현상은 기존 연구들에 따르면 pile-up이라고 불리우는 현상으로서 압입자가 소재를 뚫고 들어감에 따라 변형된 재료가 패턴 주변에 쌓이면서 생기는 현상이다. 금속소재의 소성변형 시 부피의 변화량이 이론적으로 0이 되어야 하기 때문에 발생한다[9]. 따라서 패턴의 크기와 주변에 쌓인 재료의 양이 같아야 하지만 실제로는 완벽하게 비압축성인 소재는 없기 때문에 소

재에 따라 pile-up의 양이 달라진다. 특히 소재의 기계적 특성에 따라 많이 달라지는데, 가공경화지수, 항복강도, 탄성계수에 따라 pile-up의 양이 달라지는 것으로 알려져 있다[10].

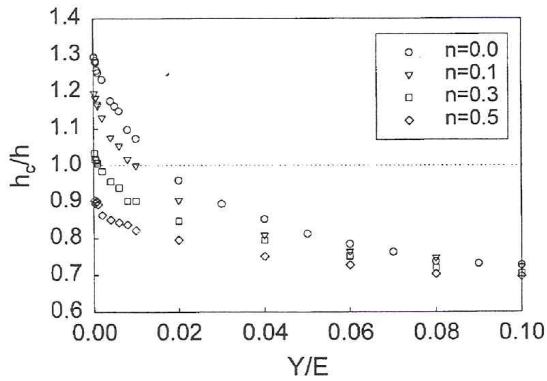


Fig. 5 The amount of pile-up depending on Y/E (yield strength/elastic modulus) and n (work-hardening exponent) [10]

이와 관련된 가장 대표적인 연구로 알려진 Cheng 등의 연구[10]에 의하면 Fig. 5와 같이 소재의 가공경화지수(n)가 작고, 항복강도(Y)와 탄성계수(E)의 비가 작을수록 pile-up 현상이 심화된다고 한다. Fig. 5에서 h_c/h 는 접촉깊이(h_c)와 압입깊이(h)의 비로서 1보다 클수록 pile-up 현상이 심해짐을 의미한다. 일반적인 금속소재의 탄성계수가 100GPa 내외이고 항복강도는 수백MPa 인 점을 감안할 때 Y/E의 비는 대부분 0.005 내외의 값을 갖게 된다. 표 1에서 보는 바와 같이 본 연구에 사용된 구리 소재와 황동 소재의 Y/E 값도 약 0.003의 값을 갖는다. Fig. 5에서 0.005와 0.003은 매우 좁은 범위이기 때문에 크게 영향을 미치지 못한다. 이에 반해 가공경화지수는 0.0에서부터 0.3에 이르는 넓은 범위를 갖으며 동일한 성분의 소재일지라도 열처리 방법 등에 따라 넓은 범위의 값을 조절할 수 있다. 따라서 항복강도와 탄성계수의 비보다는 가공경화지수의 값이 금속소재에서는 pile-up의 주된 인자임을 알 수 있다.

가공경화지수는 소재의 일축인장곡선(진변형률-진응력 곡선, σ - ϵ 곡선)에서 항복점 이후의 곡선을 식 (1)과 같이 수식화하였을 때 지수에 해당하는 값

이다. 이론적으로는 일축인장시험 시 재료의 necking이 발생하는 인장변형률과 같은 값을 갖기 때문에 재료의 연성을 나타내는 지수로서 활용된다[9]. Fig. 5에서 보는 바와 같이 가공경화지수가 클수록 pile-up 현상이 완화되기 때문에 재료의 연성이 좋을수록 pile-up 현상도 감소할 것으로 예상할 수 있다.

후의 패턴형상을 측정하였다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 풀림처리 전에는 기준면에서 pile-up된 소재의 최대 높이가 $11.9\mu\text{m}$ 이지만, 풀림처리를 한 후에는 $1.8\mu\text{m}$ 로 대폭 낮아졌음을 알 수 있었다. 완벽하게 pile-up 현상을 제거하지는 못하였으나 추후 풀림처리 최적화를 통해 더욱 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

이를 통해 소재에 풀림처리를 하면 불균일한 소성 가공현상이 제거된 상태로 압입가공법을 활용하여 불연속패턴을 가공할 수 있음을 확인하였다. 추후에는 대형 금형에 불연속패턴을 가공하여 사출성형을 통해 불연속패턴을 갖는 광학부품을 제조할 예정이다.

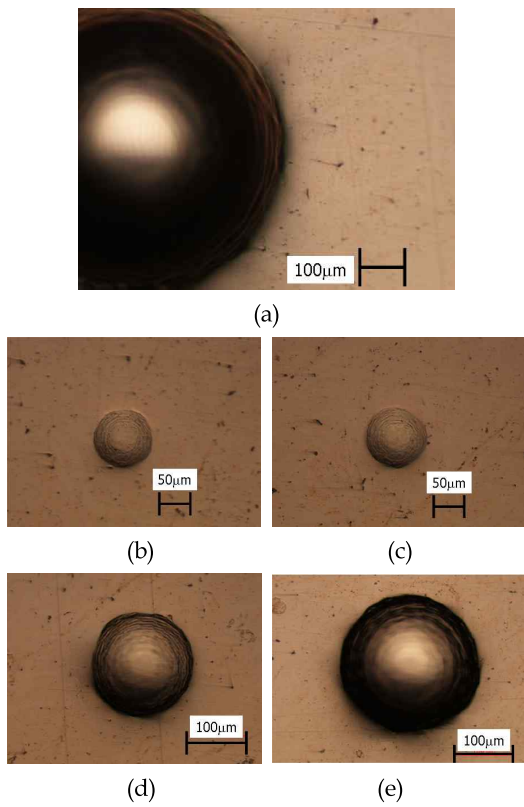


Fig. 6 No plastic deformation around pattern of Cu (a) depth : $100\mu\text{m}$, (b) $10\mu\text{m}$, (c) $20\mu\text{m}$, (d) $30\mu\text{m}$ and (e) $50\mu\text{m}$

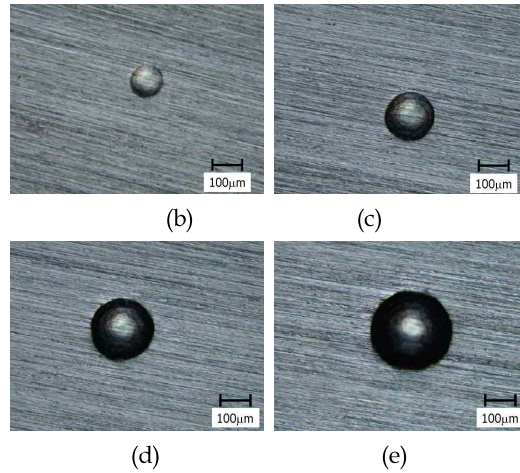
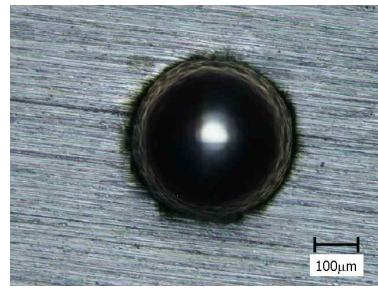
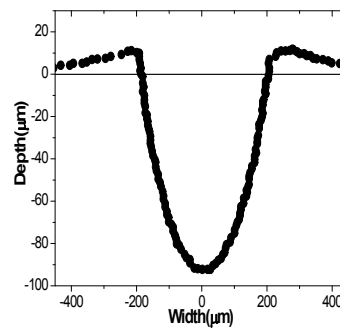
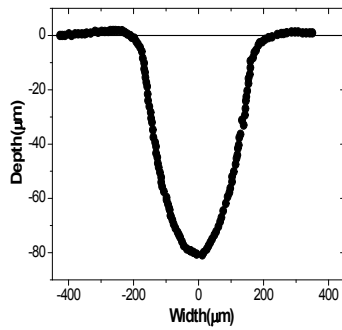


Fig. 7 No plastic deformation around pattern of brass (a) depth : $100\mu\text{m}$, (b) $10\mu\text{m}$, (c) $20\mu\text{m}$, (d) $30\mu\text{m}$ and (e) $50\mu\text{m}$



(a)



(b)

Fig. 8 Shape of pile-up of Cu molds (a) before annealing and (b) after annealing

5. 결론

본 연구에서는 압입가공법을 활용하여 LED와 같은 점광원에 사용할 수 있는 불연속패턴 금형가공기술을 개발하였고 아래의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 금형에 일반적으로 사용되는 구리와 황동 소재에 압입가공을 실시하면 패턴 주변에 pile-up이라고 불리는 불균일 소성변형이 발생하여 가공품질이 떨어진다.
2. 불균일 소성변형은 소재의 가공경화지수에 큰 영향을 받으며 가공경화지수가 클 수록 발생정도가 작아진다.
3. 풀림 열처리를 통해 가공경화지수를 크게 할 수 있으며 구리와 황동에 대해 각각 600℃와 575℃에서 풀림처리를 한 후 불연속 패턴을 가공하였을 때 불균일 소성변형이 사라짐을 확인하였다.
4. 이를 통해 LED와 같은 점광원 제품에 사용할 수 있는 불연속패턴을 갖는 광학부품 제조가 가능한 불연속패턴 금형가공기술을 개발하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 주관 전략기술개발사업 “마이크로 기능성 초정밀 핵심요소부품 제조기반 기술

개발”의 일부 지원으로 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Kim S. W. et al. "Micropatterns of W-Cu Composites Fabricated by Metal Powder Injection Molding," Metals and materials international, Vol. 13 pp. 391-395, 2007.
2. Je T. J. et al. "Machining Technology of Micro Prism Array Using Planner Cutting Process," Proc. of the KSMPE Spring Conf. pp. 191-194, 2009.
3. Akihiro F., Shigeru A. "LED backlight system with double-prism pattern," J. Soc. Inf. Display, Vol. 14 pp. 1045-1051, 2006.
4. Baker K. M. "Highly Corrected Close-packed Microlens Arrays and Moth-eye Structuring on Curved Surfaces," Applied Optics, Vol. 38 pp. 352-356, 1999.
5. Oliver W. C., Pharr G. M. "An Improved Technique for Determining Hardness and Elastic Modulus Using Load and Displacement Sensing Indentation Experiments," J. Mater. Res., Vol. 7 pp. 1564-1583, 1992.
6. Jeon E. c., Kim J. Y., Baik M. K., Kim S. H., Park J. S. Kwon D. "Optimum Definition of True Strain Beneath a Spherical Indenter for Deriving Indentation Flow Curves," Mat. Sci. and Eng. A, Vol. 419 pp. 196-201, 2006.
7. KS B 0805, "브리넬 경도 시험 방법", 한국표준협회, 2005.
8. KS B 0811, "금속재료의 비커스 경도시험방법", 한국표준협회, 2008.
9. Dieter, G. E., "Mechanical Metallurgy," McGraw Hill, 1988.
10. Cheng Y. T., Cheng C. M. "Effects of 'Sinking in' and 'Piling up' on Estimating the Contact Area Under Load in Indentation," Phil. Mag. Let., Vol. 78 pp. 115-120, 1998.