

레이저 트레판닝 드릴링을 위한 광학 설계

노지환* · 이제훈 · 서 정 · 손현기 · 신동식

*한국기계연구원

Optical Design for Trepanning Drilling

Ji-whan Noh*, Jae-Hoon Lee, Jung Suh, Hyon-kee Sohn and Dong-sig shin

*KIMM (Korea Institute of Machinery & Materials)

Abstract

A trepanning optics is the optical system which makes focus laser beam rotate and incline to the material processing surface. The trepanning optics is used in order to improve the quality of laser drilling process and control the taper of drilling diameter. In order to make trepanning optics, we can use the eccentricity of lens, scanner using two mirror, dove prism, or wedge. Among these method, in this paper wedge is used for trepanning optics. The wedge trepanning optics has advantage on the high speed of rotation. In this paper, we design the wedge trepanning optics using ray tracing elements and engine design variables of system to satisfy the customer's requirements.

Key words : Trepanning drilling, wedge design, laser processing

1. 서 론

드릴링의 기존 방법으로 기계 공구에 의한 드릴링이 대표이다. 그러나 기계 공구의 드릴링의 한계점등으로 인해 레이저 드릴링이 많은 연구가 진행 중이다. 레이저빔에 의한 재료의 드릴링은 비접촉식 방법으로 수십 μm 정도의 작은 직경크기의 드릴링이 가능하다. 레이저빔에 의한 드릴링은 매우 단단한 재료는 물론 매우 연하여 기계적

인 방법으로 가공하기 힘든 재료의 드릴링도 용이하다. 레이저 드릴링에 사용되는 레이저로는 CO_2 레이저, Nd:YAG 레이저 혹은 엑시머 레이저 등이 사용되었다. 특히 근래에 접어들어 가공면이 깨끗한 구멍을 가공하기 위해서 ultra-shot pulse laser (femtosecond laser, picosecond laser)가 이용되어지고 있다.^{1,2)} 레이저 드릴링 가공에 있어서, 가공방법에 따라 가공물의 특성이 좌우된다. 가공방법에는 single pulse drilling, percussion drilling 과 trepanning drilling이

있다. 이 세 방법 중에서 trepanning drilling 이 더 우수한 가공 특성을 가지고 있다.(그림 1 참조.)³⁾

Fig. 1 에서 보는 바와 같이 trepanning drilling 일수록 chip volume 은 적고, 가공 정밀도는 높은 것을 알 수 있다.

Percussion drilling (반복 펄스 천공) 은 한 위치에 펄스빔을 수 차례 조사시켜 재료를 드릴링 하는 방법이다. 이 방법의 치명적인 결함은 chip volume 이 많이 생성되어 깨끗한 가공이 불가능하다. Fig.2은 펄초 레이저를 이용한 percussion drilling 한 결과이다..펄초 레이저를 이용했음에도 불구하고 구멍 주변에 chip 이 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 이 chip을 없애기 위해서는 trepanning drilling이 반드시 필요하다.

Trepanning drilling은 광학기구를 이용하여 집속빔을 고속으로 회전시키면서 재료를 천공시키는 방법으로 집속빔보다 큰 직경의 drilling을 하게 된다. 이 방법은 관통된 구멍의 드릴링에만 이용되며, 드릴링면의 경사도가 작고, 천공직경의 반복성이 양호하다.⁴⁾

Trepanning drilling 을 하기 위해서는 빔을 회전 시키기 위한 trepanning optics 가 필요하거나, 혹은 가공 재료 자체를 회전 시킬 수도 있다. 가공 재료 자체를 회전 시키는 것은 구멍을 1개만 drilling을 할 수 있고, 재료 자체가 작아야 하는 제약점을 가지고 있다. 그러나 trepanning optics을 이용하면 재료를 회전 시키지 않고도 trepanning drilling

을 할 수 있다. trepanning optics 을 구성하는 방법으로는 다음 4가지 방법이 있다.

1. 렌즈를 편심으로 회전하는 방법
2. 2축 미러 스캐너를 이용하는 방법
3. dove prism 을 이용하는 방법
4. wedge를 이용하는 방법

위 방법에서 렌즈의 편심을 이용하는 방법과 dove prism을 이용하는 방법은 광학계를 꾸미는 것은 쉽지만, 고속으로 빔을 회전 시키기는 매우 어렵다. 그리고 재료에 입사되는 빔의 각도를 제어하기도 어렵다. 2축 미러 스캐너를 이용하는 방법은 작은 원을 가공하는 것이 어렵다. 그리고 재료에 입사되는 빔의 각도를 제어하는 것이 불가능하다

wedge를 이용한 방법은 비교적 다른 방법보다 고속 회전이 용이하고, 재료에 입사되는 빔의 각도를 제어하는 것이 가능하다. 따라서 본 논문에서는 wedge를 이용한 방법으로 trepanning optics 에 대해 논하고자 한다.

2. 웨지를 이용한 트레판닝 옵틱 설계

웨지를 이용한 trepanning optics의 기능에는 세가지가 있다. 첫 번째는 레이저빔을 Fig.1 의 트레판닝 드릴링처럼 레이저빔을 회전 시키는 기능이다. 두 번째 기능은 레이저가 재료에 입사할 경우 기울어져서 입사하게 만드는 기능이다. 이 기능은 윗구멍의 크기보다 아래 구멍의 크기를 크게 할

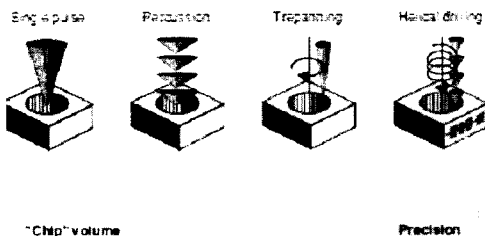


Fig. 1 comparison between percussion and trepanning drill



Fig. 2 example of percussion drilling

수 있는 conical drilling을 가능하게 한다. 세 번째 기능은 레이저빔이 회전하면서 편광 방향이 항상 가공면에 수직이 되도록 조절해 준다.

Fig. 3 에서 wedge 1과 wedge 2은 서로 마주보고 위치하게 된다. 이 상태에서 wedge 1과 wedge 2의 사이 거리를 조절함으로써, 레이저 빔이 시편에 입사되는 각도를 조절할 수 있다.

Fig. 4 에서 wedge 3 과 wedge 4가 상대적인 각도를 가지고 회전되게 된다. 이 wedge 3와 wedge 4의 상대적인 각도에 따라서 트레판닝 되는 지름이 결정된다. 따라서 wedge 1, wedge 2, wedge3 와 wedge 4를 한꺼번에 회전시키게 되면, 레이저빔은 시편에 일정 각도로 입사되면서 원하는 지름으로 레이저빔을 회전시킬 수 있다. 웨지

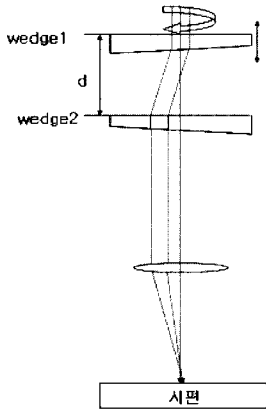


Fig. 3 First concept of optics

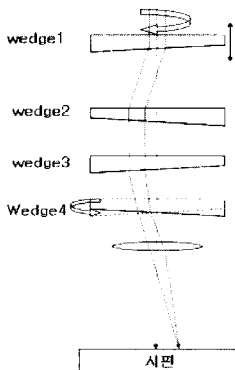


Fig. 4 Second concept of optics

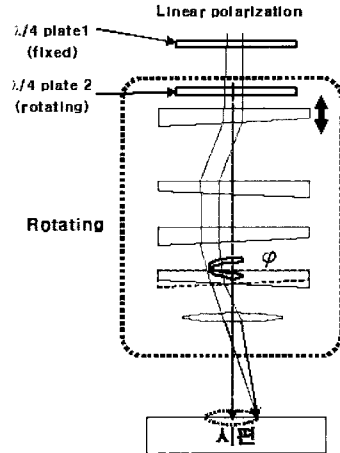


Fig. 5 third concept of optics

1과 웨지 2에 의한 입사각도 제어되는데, 웨지 3과 웨지4에 의해서 영향을 받을 수 있다. 하지만 웨지 1과 웨지2의 웨지 각도를 웨지3과 웨지 4의 웨지 각도보다 매우 크게 하면 웨지3와 웨지4에 의한 영향을 최소로 할 수 있다. 본 설계의 특성은 입사각도와 트레판닝되는 지름을 독립적으로 제어하는데 그 목적이 있다.

Fig. 3 에서는 편광을 조절해주는 quarter waveplate 가 삽입되어 있다. 레이저 자체에서 선형편광빔이 입사될 때 첫 번째 quarter waveplate (고정)가 선형편광빔을 원형편광으로 바꾸어준다. 그리고 회전되는 두 번째 waveplate 에 의해 원형편광이 선형편광으로 바뀌면서 선형편광이 항상 가공면에 수직이 되도록 조절해 준다.

3. 웨지를 이용한 트레판닝 옵틱스 시뮬레이션 결과

Fig. 6 에서는 웨지1(그림에서 앞에서 세 번째 광학 부품)와 웨지2(그림에서 앞에서 두 번째) 만을 가지고 레이 트레이싱 한 결과이다. 예상대로 웨지 전체가 회전됨에 따라

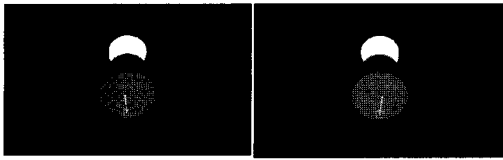


Fig. 6 Ray tracing with wedge1 and wedge2

입사 각도만 바뀌는 것을 알 수 있다. 웨지1과 웨지2의 거리가 70일 경우 포커스 렌즈(그림에서 앞에서 첫번째 광학 부품) 바로 뒷단에서는 $x=0$ $y=3.64$ 인 곳에 레이저가 입사되고 재료가 가공되는 지점에서는 원점에 입사되므로 입사각도는 5.19도라는 것을 알 수 있다. 웨지 1과 웨지 2의 거리를 50으로 줄이면, 입사각도는 3.6도가 되는 것을 시뮬레이션을 통해 알 수 있다.

이 상태에서 웨지 3와 웨지 4을 추가시키면 fig. 7과 같은 트레판닝되는 지름을 제어할 수 있다.

트레판닝 되는 지름을 0 에서 500 μ m 까지 변하고 입사되는 각도를 0에서 5도 까지 제어하고 싶다면 표1와 같이 설계를 할 수 있다.

표 1. 트레판닝 옵틱 설계안

웨지 1과 웨지 2의 웨지 각도	7.68도
웨지 3과 웨지 4의 웨지 각도	1.93도
웨지 1과 웨지 2의 거리	20~50mm
웨지 3와 웨지 4의 거리	30mm
웨지 3와 웨지 4의 상대적 각도	0~20도

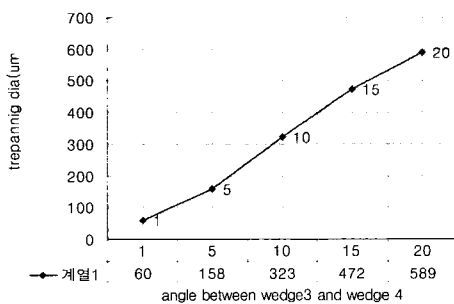


Fig. 7 trepanning diameter according to angle(wedge3,4)

4. 결 론

본 논문에서는 트레판닝 드릴링에 필요한 옵틱을 설계 하였다. 여러 가지 트레판닝 옵틱 방법 중에서 웨지를 이용한 방법을 선택하였다. 웨지를 이용한 트레판닝 옵틱은 레이저 빔을 회전 시키고, 입사 각도를 제어 하고, 편광을 가공면에 항상 수직이 되도록 유지 시키는 역할을 한다. 이 설계를 바탕으로 트레판닝 모듈을 제작하여 트레판닝 드릴링을 수행 할 예정이다.

참 고 문 헌

1. S.M. Klimentov, S.V. Garnov, T.V. Kononenko, V.I. Konov, P.A. Pivovarov, F. Dausinger: "High rate deep channel ablative formation by picosecond. nanosecond combined laser pulses", Appl. Phys. A-Mater. 69 Suppl., 633.636(1999)
2. T. Abeln, J. Radtke, F. Dausinger: "High precision drilling with short- pulsed solid-state lasers", in P. Christensen, P. Herman, R. Patel (Eds.): LIA 88 (LaserInstitute of America, Orlando 2000) pp. 195.203
3. T. V. Kononenko, S.M. Klimentov, S. V. Garnov, V. I. Konov, D. Breitling, C. Föhl, A. Ruf, J. Radtke, F. dausinger: Hole formation process in laser deep drilling with short and ultrashort pulses, in I. Miyamoto, Y.F. Lu, K. Sugioka, J. J. Dubowski (Eds.): Proc. SPIE 4426 (Intl. Soc. for Opt. Eng. 2002) pp. 108.112
4. C. Föhl, D. Breitling, K. Jasper, J. Radtke, F. Dausinger: Precision drilling of metals and ceramics with short and ultrashort pulsed solid state lasers, in I. Miyamoto, Y.F. Lu, K. Sugioka, J.J. Dubowski (Eds.): Proc. SPIE 4426 (Second Intl. Symposium on Laser Precision Microfabrication LPM 2001 (Singapore)(2002) pp. 104.107