펨토초 레이저를 이용한 Invar 합금의 어블레이션

*정일영[1], 강경호[1], 김재도[2], 손익부[3], 노영철[3]
[1] 인하대학교 대학원, [2] 인하대학교 기계공학과, [3] 광주과학기술원 고등광기술연구소

Femtosecond pulsed laser ablation of Invar alloy

*I. Y. Chung[1], K. H. Kang[1], J. D. Kim[2], I. B. Son[3], Y. C. Noh[3]
[1] Graduate School, Inha Univ., [2] Dept. of Mech. Eng., Inha Univ., [3] APRI, GIST.

Key words : Femtosecond laser, Invar Alloy, Ablation

1. 서론

Invar(Invariable Alloy) 합금은 36%의 Ni 을 함유하여 극저온(≤-163℃)에서 상온 이상까지 열에 의한 팽창이 일어나지 않는 합금으로서 현재 Display 장치에 많이 사용되고 있다. 얇은 평판 형태에서 hole 가공을 수행하여 사용하고 있는데, 일반적으로 etching, Nd:YAG 레이저 등을 이용한 가공 방법을 사용하고 있다. etching 가공을 사용할 경우에는 가공시간의 장기화와 환경오염적인 문제를 야기하게 된다. 또한 Nd:YAG 레이저를 이용한 가공은 시간적으로는 이익을 볼 수 있지만 가공 상태의 불량 즉, 버(burr)의 발생으로 인하여 후가공의 공정을 거쳐야만 한다.

펨토초 레이저(Femtosecond laser)는 기존의 가공용 레이저보다 극도로 짧은 10^{-15}초(second)의 펄스(pulse)로 발진하여 가공 성능이 우수한 레이저로 인정받고 있으며 다양한 응용분야에서 많이 사용하고 있다.

본 연구에서는 펨토초 레이저를 이용하여 Invar 합금을 어블레이션(ablation) 가공방식을 이용하여 hole 형성에 대한 가공 특성을 연구하고자 한다.

2. 실험 방법

본 실험은 OLED(Organic Light Emitting Diode)에 많이 사용하는 Invar 합금을 사용하였다. Invar 합금의 두께는 50 ㎛를 사용하였고 성분은 Table 1 에 표시하였다. 시편의 크기는 50×50㎜ 로 절단하여 세척 후에 실험을 수행하였다.

Table 1 Chemical composition of Invar alloy

C	Si	Mn	Ni	Fe
≤0.04%	≤0.25%	0.2-0.4%	36±0.5%	-

실험에 사용한 장비는 Pulse width 184fs, Frequency 1kHz, Wavelength 785nm 의 펨토초 레이저를 사용하였다. 이 펨토초 레이저의 빔폭은 8 ㎛이고 실험에 사용한 Objective lens 는 20 배율, NA(Numerical Aperature)는 0.4 를 사용하였다.

펨토초 레이저를 이용하여 Invar 합금의 ablation 양을 알아보기 위하여 실험을 실시하였다. Invar 합금에 레이저를 주사하였을 때 표면의 제거되는 정도를 파악하기 위하여 출력과 이송 속도의 범위를 설정하였다. Fig. 1 는 ablation 실험 결과이다.

실험은 원형의 hole 형상으로 수행하였고 Fig. 2 와 같이 원형의 외곽에서부터 안쪽으로 하나의 line 씩 ablation 하여 제거하는 방식을 사용하고 ablation 시 발생되는 미세 chip 의 제거를 위하여 공기를 이용한 blowing 작업을 동시에 진행 하였다. Table 2 는 원통형 포켓가공 형상 Data 로서 이 수치를 이용하여 형상을 구현하게 된다. 실험에 사용된 변수는 가공 깊이, 이송속도, 레이저 출력, 깊이 방향의 반복 조사수를 이용하여 실험을 하였다. 여기서 가공 깊이는 한번 ablation 하였을 때의 깊이를 예상적으로 설정 하게 되고, 이에 대한 깊이 방향의 반복 조사수를 이용하여 전체 두께의 가공을 위한 변수로 적용된다. 예를 들면 이 실험에 사용한 시편의 두께가 50 ㎛이므로 가공 깊이를 8 ㎛로 설정하면 깊이 방향의 반복 조사수를 10 으로 설정하게 된다. 따라서 전체 가공 깊이는 80 ㎛의 가공조건을 가지게 된다. 이러한 여러 가지 가공 변수를 이용하여 Invar 합금의 ablation 실험을 수행하였다.

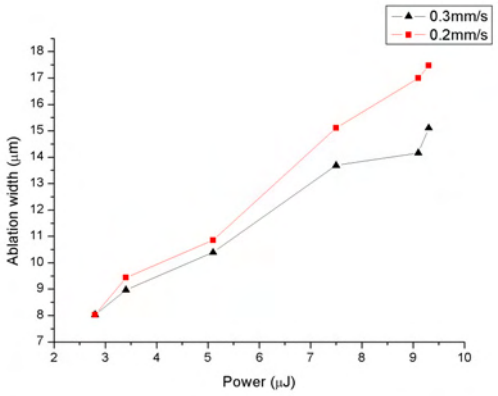


Fig. 1 Result of ablation test on the Invar alloy used variable

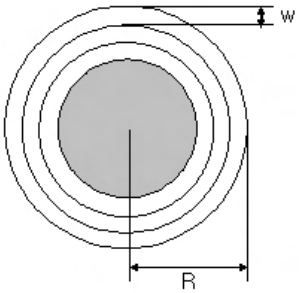


Fig. 2 Schematic diagram of ablation method on the Invar alloy (w : ablation line, R : radius)

Table 2 Data of cylindrical pocket process

W	4 ㎛
R	120 ㎛
Number of concentric circle	10 times

3. 실험결과

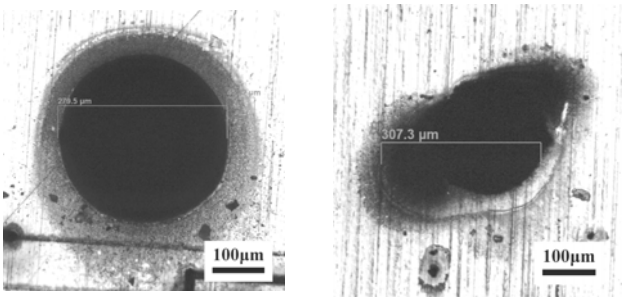
3-1. 가공 깊이 변환 실험

이송속도와 레이저 출력은 고정을 시키고 가공 깊이와

그에 맞는 깊이 방향의 반복 횟수를 변환하여 실험을 하였다. Table 3 은 가공 깊이와 깊이 방향의 반복 횟수를 변환하여 얻은 데이터이다. 가공 깊이를 8 ㎛ 로 설정한 실험에서는 가공된 상부 부위는 버(burr)의 발생 없이 깨끗하게 가공이 되어있다. 그러나 하부 부위는 비원형 모양을 형성하게 되었다. 이는 7.5μJ 의 출력에서 가공 깊이를 8 ㎛로 설정을 하게 되면 한번 ablation 이 되는 깊이보다 깊은 형태로 파악된다. 그리고 가공면 주위의 흔적이 발생하였는데 이는 가공 시에 발생된 그을림 현상으로 밝혀졌다. 이 그을림 현상은 가공 시 발생되는 잔여물의 온도와 blowing 에서 발생되는 공기와 산화반응으로 발생된 것으로 판단된다. 이 그을림면은 세척과정을 거치면 그을림이 없는 깨끗한 가공면을 생성하게 된다. 가공 깊이를 4 ㎛로 설정하였을 때 가공된 원형 형상이 유지 되어 있고 후면 부위도 깨끗한 원형 형상을 유지하고 있었다. Fig. 3-4 는 Table 3 의 조건으로 가공하였을 때의 현미경 사진이다.

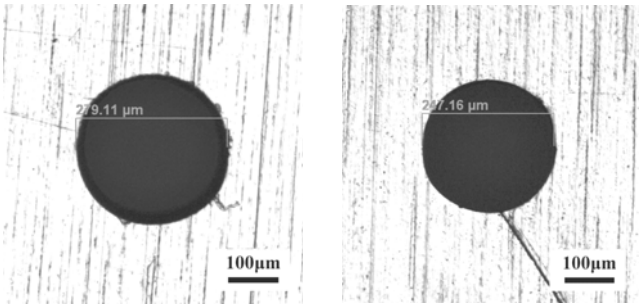
Table 3 Experimental results with different depth

Depth (㎛)	Velocity (mm/s)	Power (μJ)	Repetition number (EA)	State
8	0.2	7.5	10	X
6	0.2	7.5	12	○
4	0.2	7.5	14	◎
2	0.2	7.5	25	○



(a) (b)

Fig. 3 Femtosecond laser ablated on Invar alloy. (depth:8 ㎛, velocity : 0.2mm/s, peak power : 7.5 μJ) (a) upper side (b) bottom



(a) (b)

Fig. 4 Femtosecond laser ablated on Invar alloy. (depth:4 ㎛, velocity : 0.2mm/s, peak power : 7.5 μJ) (a) upper side (b) bottom

3-2. 이송속도 변환 실험

가공 깊이와 레이저 출력은 고정을 시키고 이송 속도를 변환 하여 실험을 수행하였다. 이송속도를 변환한 실험의 데이터는 Table 4 에 정리하였다. 이송 속도 변환 실험에서의 결과는 전체적으로 가공된 면이 버(burr)의 발생이 없는 형태로 생성되었다. 그러나 이송 속도의 증가로 인하여 정확한 원형 형상의 발생은 없었다. 이는 속도가 증가함에 따라서 원형 형상이 일그러지는 형상을 나타냈으며 이송 테이블의 영향으로 파악 할 수 있다.

Table 4 Experimental results with different velocity

Depth (㎛)	Velocity (mm/s)	Power (μJ)	Repetition number (EA)	State
8	0.3	7.5	10	○
6	0.3	7.5	12	○
4	0.3	7.5	14	○
2	0.3	7.5	25	○

3-3. 레이저 출력 변환 실험

가공깊이와 테이블 이송속도는 Table 3 에서 가공 상태가 좋은 데이터로 선정하고 레이저 출력을 변환하여 실험하였고 Table 5 에 실험결과를 정리하였다. 실험결과 전체적으로 버(burr)의 발생 없이 깨끗한 가공면을 생성하였지만, 원의 모양이 약간씩 일그러진 형상을 나타내었다. 이는 재료의 가공면에 peak 출력의 불안정한 흡수와 레이저 출력 대비 이송속도의 부조화로 인하여 발생한 결과이다.

Table 5 Experimental results with different peak power

Depth (㎛)	Velocity (mm/s)	Power (μJ)	Repetition number (EA)	State
4	0.2	3.4	14	○
4	0.2	5.1	14	○
4	0.2	9.1	14	○
4	0.2	9.3	14	○

4. 결론

현재 Invar 합금의 hole 가공은 Nd:YAG 레이저를 이용한 가공을 많이 사용하고 있으나 이때 발생되는 버(burr)로 인하여 후가공의 공정을 거쳐야 한다. 그러나 펨토초 레이저를 이용한 실험에서 가공조건 가공 깊이 8 ㎛, 이송속도 0.2mm/s, 레이저 peak 출력 7.5 μJ 에서 버(Burr)의 영향 없이 깨끗한 가공면을 생성할 수 있는 결과를 도출하였다.

참고문헌

1. Venkatakrism, K., Tan. B., Sivakumar, N. R., “Sub-micron ablation of metallic thin film by femtosecond pulse laser”, Optics & Laser Technology, 34, 575-578, 2002.
2. Huang, H., Zheng, H. Y., Lim, G. C., “Femtosecond laser machining characteristics of Nitinol”, Applied Surface Science, 228, 201-206, 2004.
3. 이해식, “국내외 메탈마스크 기술 현황 및 전망”, 월간 표면실장기술, 2-5, 2002.