

피코초 레이저를 이용한 고세장비 미세 홀가공의 실험적 연구

오부국[✉], 김종기, 김두영, 이승기, 정수화, 홍순국

LG전자 생산기술원

Experimental study on micro-hole drilling with high aspect ratio using picosecond laser

Bukuk Oh[✉], Jongki Kim, Dooyoung Kim, Seungkey Lee, Soohoa Jeong, Michael Hong

Production engineering Research Institute, LG Electronics

Abstract

Pressure-drop in a micro-channel is critical when a hole diameter is less than 100 μ m with the high aspect ratio, more than 40. To minimize these pressure loss for micro-channel applications is important and there would be the best hole diameter, taper angle, and their combinations. In this work, the parametric study for laser drilling of anodized material is conducted to obtain the micro-channel hole with high aspect ratio.

Keywords: Micro-channel(마이크로채널), Laser drilling(레이저드릴링), High aspect ratio(고 세장비)

1. 서론

레이저를 이용한 드릴링 공법은 비접촉식/정밀 가공 측면에서 기존의 기계식 천공방식보다 우수한 장점들을 가지고 있다. 가공 팁을 교체할 필요가 없어서 운영비용을 최소화하고 광학계에 의한 초점가공을 통해 수십 μ m의 정밀 홀 가공을 수행할 수 있다. 최근 가전분야에서도 제품들의 고집적화/고밀도화가 이뤄지면서 홀가공 사양이 기계식 가공이 불가능한 20-30 μ m의 미세홀 가공에 대한 수요가 증대되고 있다. 특히 부품들의 섹터부에 윤활역할을 보조하기 위한 미세 급기홀을 레이저 가공으로 시도되고 있다. 마찰운동에 의한 재료의 내마모성 확보를 위하여 표면에 고경도 아노다이징 처리를 한 알루미늄 소재에 대해 레이저 미세 홀 가공 시 재료경도의 불규칙성으로 인한 홀진원도, 홀직진도, 그리고 세장비(aspect ratio)의 한계들이 존재하게 된다. 이러한 한계들을 극복하는 것이 매우 중요하나 결국 유체흐름의 채널로 활용되기 위해서는 압력손실을 최소화 하기 위한 홀드릴링 구조를 확보하는 것이 보다 근본적인 문제라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 레이저공정 파

라미터에 따른 홀 테이퍼 및 입/출구 직경에 대한 변화에 대해 그 효과를 연구하고자 한다.

2. 실험

레이저 드릴링 가공 시 외부 보조가스를 동축으로 적용하였으며 가스 압력은 0-10bar 까지 조정이 가능하다. 레이저 플라즈마의 생성을 최소화하기 위해 불활성가스(질소)를 사용하였고 차폐제어를 위해 전자식밸브를 이용하여 1/100초(rising time)로 제어하였다^{1,2}. 샘플은 알루미늄(Al6061)으로 상하면에 아노다이징처리를 하였으며 두께는 1.2mm되는 소재이다. 레이저 홀 출구 가공 사양은 대략 30 μ m 미만을 목표로 실험을 수행하였다.

레이저는 피코초 레이저(10ps, 1064nm, 200kHz)를 사용하였으며 출구단 빔 사이즈는 9mm로 빔을 확장하여 초점렌즈($f = 75, 100, 125$ mm) 단에 입사시킨다. 가공시 초점의 위치는 상면으로부터 0.4mm 아래지점에서 수행하였다. 레이저 드릴링 후 홀의 단면측정을 위하여 Micro-CT scan(Skyscan1173)을 통한 단층촬영을 통해 단면형상을 확보하였다.

투고일 : 2015년 6월 20일 심사완료일 : 2015년 6월 22일

게재승인일 : 2015년 6월 26일

교신저자 : 오부국 ✉ bk.oh@lge.com

3. 결 과

홀 입출구 직경과 홀의 길이에 따른 압력차이를 확인하고자 유동해석 시뮬레이션을 수행하였다. 동일 출구 직경 (25 μm) 적용시 입구직경을 (a)25 μm , (b)75 μm 에 따른 압력차이를 Fig. 1에 보여주고 있다. 수직홀의 경우 테이퍼홀보다 압력 손실이 대략 6-7배 정도 크게 나타난다. 유동채널로서의 기능을 위해서는 압력손실이 0.4bar 미만이면 충분하기 때문에 (b)와 같이 입/출구 홀직경 이면 적절하다 판단된다.

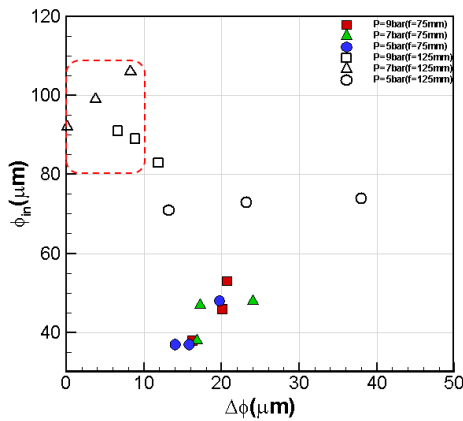


Fig. 1 Pressure drop through laser drilled hole for different entrance hole diameter as a function of length of hole.

Fig. 2는 실험후 측정된 홀형상의 단면 이미지를 보여주고 있다. 공정변수로는 레이저 파워, 가스압력 및 렌즈초점거리를 변경하여 테스트를 수행하였다. 홀직경 대비 샘플의 두께가 크기 때문에 일부 이미지 ($f = 75\text{mm}$, 38W, 7bar)에서는 수직홀과 같은 형상을 발견할 수 있다. 대체적으로 $f = 125\text{mm}$ 를 사용한 경우에 입/출구 홀직경 편차 크게 되어 테이퍼홀과 같은 형상을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 입구부터 시작해서 홀의 중간부쯤 오면 수직홀의 형상을 가지게 되는 양상을 확인 할 수 있다. 이러한 결과를 보다 정량적으로 분석하기 위해 Fig. 3처럼 입구직경, 출구직경, 그리고 수직홀이 시작되는 위치와 크기를 이미지로부터 측정하였다.

특히 수렴반경편차 ($\Delta\phi$)의 양이 최소화 될수록 테이퍼 형상이 우수하고 수직홀영역이 미미함을 의미한다. Fig. 4는 각 렌즈초점에 따른 실험결과를 수렴반경편차의 값으로 표시하였다.

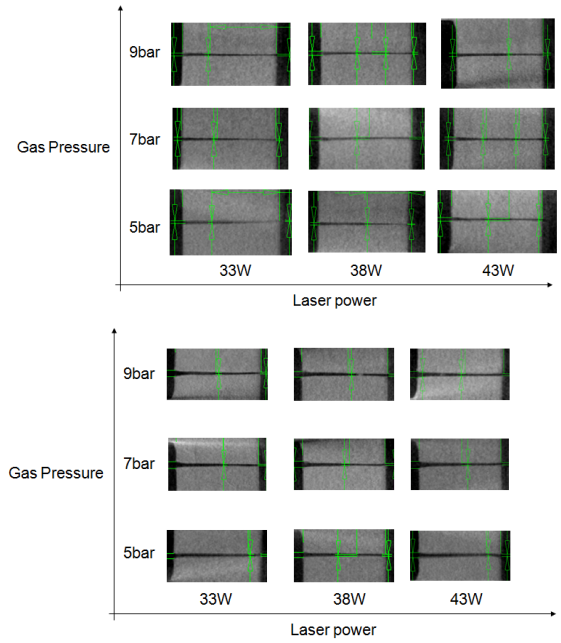


Fig. 2 Cross sections with various laser parameter (upper: $f = 75\text{mm}$, lower: $f = 125\text{mm}$).

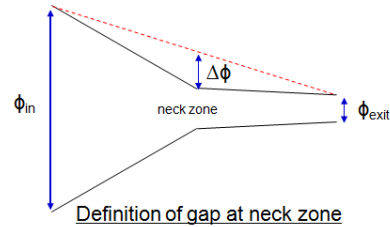
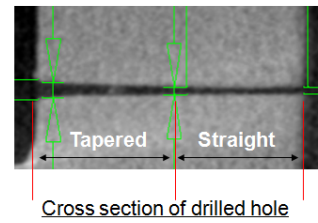


Fig. 3 Features of tapered hole and definition of $\Delta\phi$.

공정변수에 따른 산포의 편차는 $f = 75\text{mm}$ 일 경우가 작지만 수렴반경편차의 최소값은 $f = 125\text{mm}$ 의 렌즈를 사용할 경우 확보할 수 있었다. 이는 긴 초점의 렌즈의 경우 가공심도의 확보가 상대적으로 유리하기 때문에 현상학적으로 관찰되는 것으로 판단되어진다. 또한 $f = 125\text{mm}$ 의 경우 압력이 증가할수록 반경편차가 감소하는 것을 볼 수 있으며 이는 강한 가스압력에 의한 용융물의 ejection이 충분할 때 깨끗한 테이퍼홀 형상을 확보할 수 있다라고 판단된다³.

생산공정에 적용하기 위해 process window를

설정하기 위해 Fig. 5 처럼 수렴반경편차와 입구 홀 직경을 다양한 공정변수에 대해 매핑을 하였다. 우리가 공정사양을 입구 홀 직경은 80 μm 이상, 수렴반경편차는 10 μm 미만으로 볼 때 점선과 같은 공정윈도우를 가져 갈 수 있게 된다. 이 윈도우에 존재하는 조건들은 모두 $f = 125\text{mm}$ 렌즈를 사용하는 경우임을 확인 할 수있다.

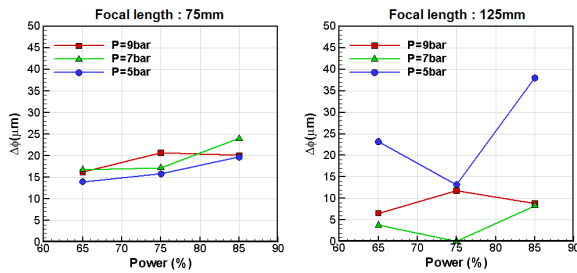


Fig. 4 Radius deviation at the neck position between measured diameter and ideal diameter (left: $f = 75\text{mm}$, right: $f = 125\text{mm}$)

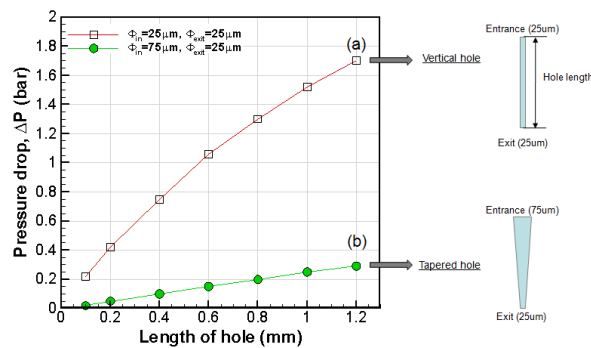


Fig. 5 Mapping of entrance hole diameter and neck radius deviation for various process parameter.

4. 결론

본 연구는 레이저를 이용한 고세장비 홀드릴링 시 최적화된 테이퍼 홀을 얻기 위한 파라메트릭 연구가 수행되었다. $f = 125\text{mm}$ 렌즈 적용 시 7bar 에서 수렴 반경 편차가 최소화 되었으며 $f = 75\text{mm}$ 렌즈 적용시 보다 수렴 반경 편차가 10 μm 미만까지 감소하였다. 이를통해 고세장비 홀 드릴링을 위한 입구홀 직경과 수렴반경편차에 대한 공정윈도우를 확인 할 수 있었다. 경우에 따라 입구 홀 주변에 생성된 burr 들이 홀 내부에 삽입시 급격한 압력감소의 원인이 되므로 추후 연구에서는 상부 burr가 최소화 되는 조건에 대해서도 연구를 수행하고자 한다.

References

- 1) R.S. Patel et al., "Gas-assisted laser-metal drilling - Theoretical model," Journal of Thermophysics and Heat Transfer, Vol. 5 No. 1 pp. 32-39, 1991.
- 2) N.M. Bulgakova et al., "Pulsed laser ablation of solids: transition from normal vaporization to phase explosion," Applied Physics A Vol. 73 p. 199, 2001.
- 3) D. Bauerle "Laser Processing and Chemistry," Springer, 2002.