

Pulsed Nd:YAG 레이저를 이용한 0.2 mm 알루미늄 판재 천공시 공정조건에 따른 단면형상 변화

Variation of the Shape of the Drilled Hole According to Process Parameters in the Micro Drilling of Pure Aluminium Sheet with 0.2 mm of the Thickness Using Pulsed Nd:YAG Laser

#안동규¹, *정광운², 유영태³, 신호준⁴

[#]D. G. Ahn(smart@chosun.ac.kr)¹, *K. W. Jung², Y. T. Yoo³, H. J. Shin⁴

¹ 조선대학교 기계공학과, ²조선대학교 일반대학원 기계공학과, ³조선대학교 메카트로닉스공학과,

⁴조선대학교 일반대학원 메카트로닉스공학과

Key words : Pulsed Nd:YAG laser, Laser drilling, Shape of the Drilled hole, Al 1050 sheet

1. 서론

현대 레이저 천공 기술은 시계 마이크로 부속품, 항공기용 터빈 블레이드 냉각용 구멍, 마이크로 광인쇄 회로기판 등 다양한 구성품의 미세구멍 가공을 할 수 있는 분야에서 산업적 활용도가 높아지고 있다¹⁻². 특히, 본 연구에서 사용된 알루미늄 금속 박판 재료는 핸드폰 외장용 케이스, 전기용도체, 인쇄회로기판, 열교환기 부품 등 산업적 활용도가 높지만, 레이저 가공시 발생하는 재료상의 원천적인 문제점인 빛에 대한 높은 반사율, 높은 열전도율 및 높은 용융점에서 알루미늄 산화물을 형성하는 자기산화 산화반응 등으로 인하여 가공상의 어려움 겪는다³. 이러한 이유로 펄스형 레이저를 이용한 알루미늄 재료 천공 공정에서는 레이저 공정변수와 재료 상호간의 상관관계 및 천공 품질 평가 특성에 관한 연구가 절실히 필요하다. 선행연구로써는 Li 와 Low 는 Nd:YAG 레이저를 이용한 Nimonic 263 금속 재료 천공시 구멍 테이퍼 특성 및 테이퍼 제어 기술 개발에 관한 연구를 수행하였다. 그 결과 회귀분석에 의해 만들어진 통계적 모델링을 통하여 공정변수와 구멍 테이퍼의 상관관계를 규명하였다⁴.

본 논문에서는 펄스형 Nd:YAG 레이저를 이용한 0.2 mm 알루미늄 판재 재료 천공시 공정변수인 노즐 직경, 펄스 투사 시간, 펄스 반복 횟수가 천공 구멍 단면 품질에 미치는 영향에 관하여 연구하였다.

2. 실험 및 분석 방법

본 연구에서는 Fig.1 과 같은 최대출력 150 W 의 펄스형 Nd:YAG 레이저와 가스분사 장치가 장착된 3자유도 레이저 천공 시스템을 이용하였다. 레이저 파장은 1,064 nm 이고 레이저 빔 직경은 0.4 mm 이며, 레이저 빔 공간모드는 TEM₀₀ 모드를 사용하였다. 레이저 펄스 생성을 위한 입력 변수는 Fig.1 의 레이저 제어기에서 제어 된다. 천공용 취입 가스는 불활성 기체인 헬륨(He) 가스를 사용하였다.

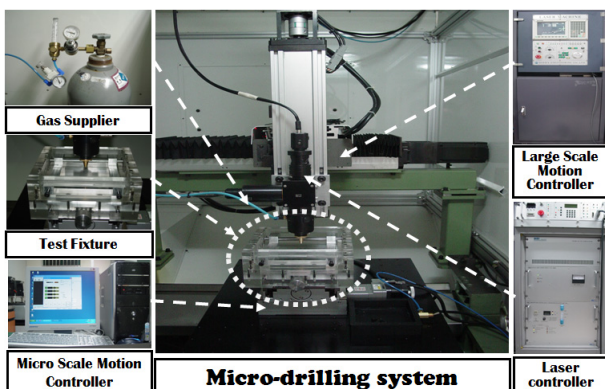


Fig. 1 Experimental set-up

또한, 노즐 직경별 가스 압력은 0.05 MPa 로 동일하게 선정하였다. 미세 천공을 위한 레이저 이동 제어는 Fig.1 의 PC-NC 기판의 마이크로 모션 제어를 통하여 제어된다. 레이저 초점거리는 천공 노즐의 첨단과 재료의 상면 사이 거리로 산출하였고, 시편의 두께는 0.2 mm 였다. 본 실험에 사용된 공정변수들은 노즐 직경 (N_d), 펄스 투사 시간 (P_d), 펄스 반복 횟수 (P_f) 이다. 실험조건은 Table 1 과 같다. 본 연구에서는 실험 조건별 천공 단면 품질 평가를 위해 천공단면부의 천공단면폭 (Ψ), 시편 하부 용융물 두께 (ζ) 및 천공단면 최대 테이퍼 각도 (θ) 를 측정하였다. 본 레이저 천공 실험에서는 천공된 구멍 표면의 끝단으로부터 0.5 mm 떨어진 부분에서 절단하여 중앙부로 폴리싱 후 광학 현미경 및 전자 현미경 (SEM)을 이용하여 Fig. 2 와 같이 천공 단면 품질 특성에 관하여 분석 및 고찰하였다.

Table 1 Experimental conditions

P_v (V)	P_d (ms)	P_f (Hz)	N_d (mm)
400	0.5	4, 8, 12	2.2, 1.0, 0.7, 0.5
	1.0		
	2.0		

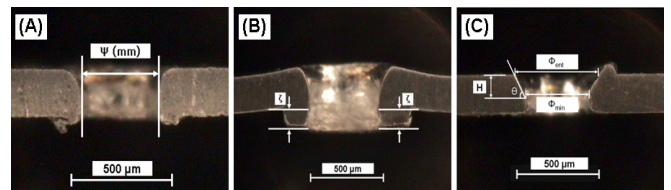


Fig. 2 Definition of the measurement to estimate the quality of the drilled hole (a) drilling section width, (b) cross thickness, (c) maximum taper angle

3. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 Table 1 과 같은 실험 조건에 대하여 노즐 직경별 펄스 투사 시간 및 펄스 반복 횟수를 변화시키면서 실험을 수행하였다. Fig. 3 은 공정변수와 천공단면폭의 상관관계를 나타내었다. Fig. 3 에서서는 노즐 직경이 0.7 mm 경우 펄스 반복 횟수 8 - 12 Hz 에서 천공단면폭이 0.34 - 0.38 mm 범위이며, 노즐 직경이 1.0과 2.2 mm 일 경우 펄스 반복 횟수 4와 12 Hz에서 천공단면폭이 가장 작은 0.2 - 0.26 mm 범위를 나타내었다. 또한, 펄스 투사 시간 2.0 ms 에서는 노즐 직경 0.5 - 0.7 mm 일 경우 천공단면폭이 0.36 - 0.45 mm 범위로 가장 크며, 노즐 직경 1.0 mm에서 가장 작은 값을 나타내었다. 반면 펄스 반복 횟수가 4 Hz 일 경우 천공단면폭이 크게 형성됨을 알 수 있었다. 이 결과로부터 공정변수와 천공단면폭의 상관관계에서 펄스 투사 시간에 비례하여 증가하는 경향이 나타났으며, 노즐 직경 0.5 - 0.7 mm 에서 천공단면폭 크기가 가장 크게 형성됨을 알 수 있었다. Fig. 4 는 펄스 반복 횟수 12 Hz 일 경우 노즐 직경 1.0 mm

및 펄스 투사 시간과 시편 하부 용융물 두께를 측정된 결과이다. 펄스 반복 횟수 12 Hz 일 경우 노즐 직경 0.5 mm에서 용융물 두께 좌우의 크기가 가장 작은 0.02 mm 이내 범위를 형성하였으며, 노즐 직경이 0.5 mm에서 2.2 mm로 증가할수록 시편 하부 용융물 두께가 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있었다.

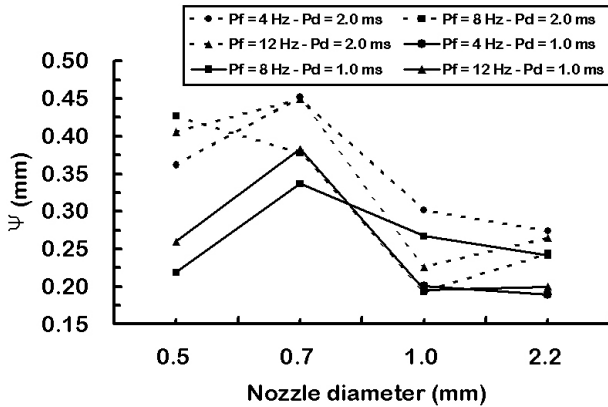


Fig. 3 Effects of process parameters on drilling section width (ψ)

또한, 노즐 직경이 2.2 mm 일 때, 펄스 투사 시간이 1.0 ms 일 경우 2.0 ms 보다 용융물 두께가 더 크게 형성됨을 알 수 있었다.

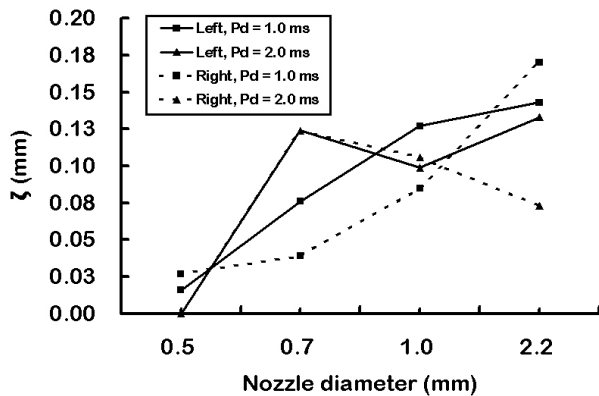


Fig. 4 Effects of process parameters on the dross thickness (ζ) at 12 Hz of the pulse frequency

Fig. 5는 펄스 투사 시간 2.0 ms 일 경우 노즐 직경 및 펄스 반복 횟수와 천공단면 최대 테이퍼 각도를 측정된 결과이다. 노즐 직경 1.0 mm 일 경우 펄스 반복 횟수에 따라 테이퍼 각도 크기가 63 - 75° 범위로 가장 크게 형성되었으며, 노즐 직경 0.5 mm 와 0.7 mm 경우는 펄스 반복 횟수별로 테이퍼 각도가 거의 비슷한 천공 단면 특성이 생성됨을 알 수 있었다. 반면 노즐 직경 2.2 mm 일 경우에는 펄스 반복 횟수 4 와 12 Hz 범위에서 테이퍼 각도가 가장 작은 50 - 56° 값을 나타내었다. Fig. 6은 펄스 투사 시간 및 펄스 반복 횟수가 각각 1.0 ms 와 12 Hz 일 때, 천공 단면 형상 상태를 나타낸다.

4. 결론

본 논문에서는 펄스형 Nd:YAG 레이저를 이용한 0.2 mm 알루미늄 판재 재료 천공시 공정변수인 노즐 직경, 펄스 투사 시간 및 펄스 반복 횟수가 천공 단면 품질에 미치는 영향에 관하여 연구하였다. 그 결과 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 펄스형 Nd:YAG 레이저를 이용한 0.2 mm 알루미늄 재료 천공시 공정변수와 천공 단면 품질의 상관관계를 정량적으로 도출하였다.

둘째, 천공단면폭의 크기는 펄스 투사 시간에 비례하며,

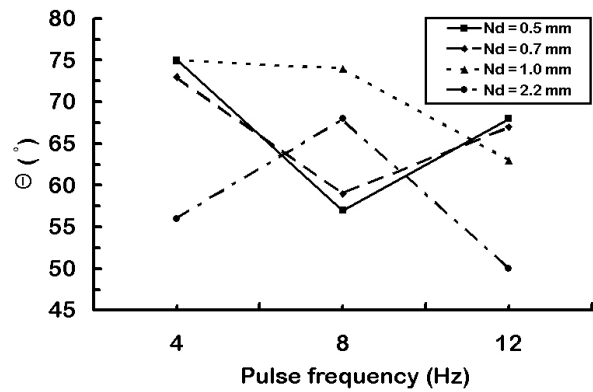


Fig. 5 Effects of process parameters on the maximum taper angle (θ) (pulse duration = 2.0 ms)

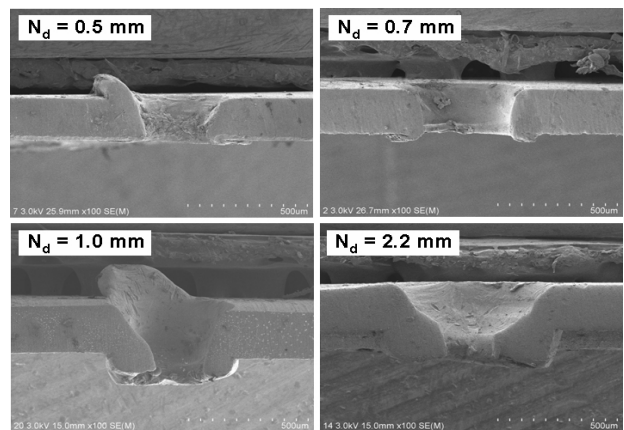


Fig. 6 SEM images of the shape of the drilled hole ($P_d = 1.0$ ms, $P_f = 12$ Hz)

노즐 직경이 작을수록 크게 형성됨을 알 수 있었다. 또한, 시편 하부의 용융물 두께의 크기는 노즐 직경 0.5 mm 경우 가장 작았으며, 노즐 직경이 증가할수록 비교적 선형적으로 증가한다는 것을 알 수 있었다.

셋째, 펄스형 Nd:YAG 레이저를 이용한 0.2 mm 알루미늄 재료 천공시 노즐 직경 크기 및 펄스 투사 시간이 천공 단면 품질을 향상시키는 주요한 변수임을 알 수 있었으며, 노즐 직경 0.5 - 0.7 mm에서 천공 단면 형상이 우수한 품질의 구멍을 가공할 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부 지정 지역혁신센터 (RIC) 조선대학교 레이저 응용 신기술 개발 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Ion, John C., "Laser Processing of Engineering Materials," Great Britain by Biddles Ltd, 2005
2. Dubey, Avanih Kr., Yadava, Vinod., "Experimental study of Nd:YAG laser beam machining-an overview," Journal of Materials Processing Technology, 195, 15-26, 2008
3. Tunna, L., O'Neill, W., Khan, A., Sutcliffe, C., "Analysis of laser micro drilled holes through aluminium for micro-manufacturing applications," Optics and Lasers in Engineering, 43, 937-950, 2005
4. Li, L., Low, D.K.Y., Ghoreshi, M., "Hole taper characterisation and control in laser percussion drilling," CIRP Annals- Manufacturing Technology, 51, 153-156, 2002