

고출력 연속파형 Nd:YAG 레이저를 이용한 CSP 1N 박판재 절단시 공정변수가 절단폭 및 절단표면특성에 미치는 영향

안동규(조선대 기계공학과), 김민수*(조선대 대학원 기계공학과), 이상훈(조선대 대학원 기계공학과),
유영태(조선대 기전공학과), 박형준(조선대 산업공학과)

Effects of process parameters on kerfwidth and characteristics of the cut surface for the case of cutting of CSP 1N sheet using high power continuous wave Nd:YAG laser

D. G. Ahn(Dept. of Mech. Eng. CSU), M. S. Kim(Dept. of Mech. Eng. CSU), S. H. Lee(Dept. of Mech. Eng. CSU), Y. T. Yoo(Dept. of Mechatronics Eng. CSU), H. J. Park(Dept. of Industrial Eng. CSU)

ABSTRACT

The objective of this research work is to investigate the effects of process parameters, such as power of laser, travel speed of laser and material thickness, on kerfwidth and characteristics of the cut surface for the case of cutting of CSP 1N sheet using high power continuous wave Nd:YAG laser. In order to find relationship between the process parameters on the quality of the cut section, such as kerfwidth, surface roughness and the striation formation, several laser cutting experiments are carried out. From the results of experiments, an optimal cutting speed for each cutting condition has been obtained to improve the quality of the cut surface.

Key Words : CW Nd:YAG laser (연속파형 Nd:YAG 레이저), CSP 1N sheet(CSP 1N 냉연강판), Kerfwidth(절단폭), Surface roughness(표면조도), Striation(물결무늬)

1. 서론

레이저 가공은 높은 에너지 밀도를 가지는 고출력 열원으로 고속가공이 가능하므로 가공재료에 작은 열영향부를 생성시키고 가공후 열변형은 적게 발생시켜 고정밀 절단 및 용접이 필요한 산업분야에 폭넓게 활용되고 있다. 레이저를 이용한 박판절단은 레이저의 초점크기 (Spot size) 내에 고출력의 에너지가 밀집되고 고속으로 절단하므로 레이저 열에 의한 가공재료의 열전달 반경이 적어 가공재료 내부에 잔류응력을 작게 발생시켜 가공후 열변형이 최소화되는 제품 절단이 가능하다. 이러한 장점 때문에 오늘날 자동차/선박/전자제품 등 고정밀 절단 및 용접이 필요한 산업분야에 폭넓게 활용되고 있다. 특히, Nd:YAG 레이저는 레이저의 안정성이 높고 고출력을 얻을 수 있으며, 1.06 μm 의 파장을 가지고 있어 10.6 μm 의 파장을 가진 CO₂ 레이저보다 가공물의 빔 반사율이 매우 낮고 작은 영역에

에너지가 집중됨으로써 열 영향부가 작아서 제품의 열변형이 작게 일어난다. 그러므로, 최근 고출력 Nd:YAG 레이저의 산업적 적용이 활발히 진행되고 있다.

Na 와 Yang 등에 의하여 저출력 CO₂ 레이저 절단시 보호가스압력의 영향성에 대한 연구를 수행하였다.¹ Alope 등은 CO₂ 레이저를 이용한 연강 박판재 절단시 열입력과 절단속도의 절단폭에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다.² King 등은 CO₂ 레이저를 이용한 연강판재 절단시 펄스 (Pulse) 에 따른 절단면 특성 변화에 대해서 연구를 하였다.³ Olsen 등은 CO₂ 레이저를 이용한 연강판 절단시 공정변수인 레이저 출력, 레이저 절단속력 및 가스압력이 절단면 물결무늬 (Striation) 형성에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하였다.⁴ Yilbas 는 CO₂ 레이저를 이용한 연강판재 절단시 가스압력과 레이저 절단속력이 절단면 품질에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하였다.⁵ Ivarson 등은 CO₂ 레이저를

이용한 연강 절단시 산화작용 및 절단면 물결무늬 생성에 대한 연구를 수행하였다.⁶

위와 같은 몇몇 레이저 가공에 대한 선행 연구가 수행 되었으나, 1.0 kW 이상의 고출력 Nd:YAG 레이저를 이용한 박판재 절단시 레이저 절단속력, 레이저 출력 및 재료두께가 절단품질에 미치는 영향에 대한 선행 연구는 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 고출력 연속파형 Nd:YAG 레이저를 이용한 2 mm 이하의 CSP 1N 냉연강판 절단시 공정변수가 절단폭, 표면조도 및 물결무늬 형성에 미치는 영향에 대하여 분석/고찰하고자 한다.

2. 실험 및 분석 방법

본 연구에서는 Fig. 1 과 같은 최대출력 2.8 kW 의 연속파형 Nd:YAG 레이저 발전기와 CNC 조작이 가능한 6 자유도 로봇의 연동된 시스템을 사용하였다. 시편은 포항제철에서 개발된 자동차 및 구조물 판재로 많이 사용되고 있는 CSP 1N 압연강판을 사용하였다.

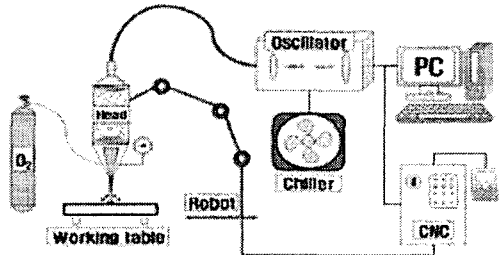


Fig. 1 Experimental set-up

본 실험에 사용된 Nd:YAG 레이저는 독일 Trumpf 사에서 제작된 아크 플래시 램프 펌프 장치 가 부가된 레이저 발전기에서 생성된다. 레이저의 파장은 1.06 μm 이며, 초점크기는 0.6 mm 이다.

Table 1 Chemical composition of CSP 1N (wt%)

C	Mn	P	S	Ti	Al
0.03	0.07	0.01	0.01	0.05	0.03

CSP 1N 압연강판 재료성분비는 Table 1 과 같다. 실험에 사용된 공정변수와 재료두께는 Table 2 와 같으며, 절단가스 압력은 0.07 MPa 로 고정하였다.

Table 2 Experimental conditions

Process parameter	Condition
Power of laser (Watt)	1,200 ? 1,800
Travel speed of laser (mm/min)	2,000 ? 10,000
Thickness of CSP 1N (mm)	0.5 ? 2.0

레이저 절단길이는 초기 레이저 안정화 길이 및 절단 종료부의 영향이 절단 품질 평가에 영향을 미치지 않게 하기 위하여 100 mm 로 선정하여 50 mm 이상의 절단 품질 평가 길이가 확보되도록 하였다.

3. 결과 분석 및 고찰

3.1 공정변수에 따른 절단폭 특성 변화

공정변수의 절단폭에 미치는 영향성을 분석/고찰하기 위하여 예비실험을 통해 취득한 절단가능영역 내에서 레이저 절단실험을 수행하였다

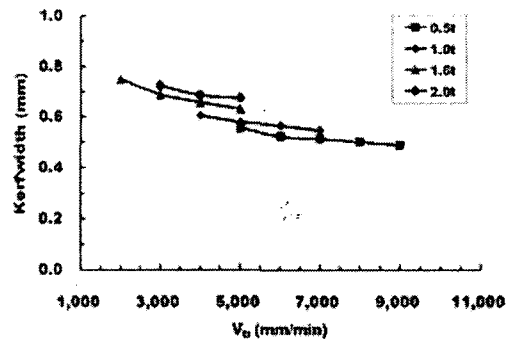


Fig. 2 Influence of travel speed of laser and thickness of material on kerfwidth (Power = 1,400 Watt)

Fig. 2 는 레이저 출력 1,400 Watt 일때 재료두께 별 절단속력과 절단폭의 관계를 나타낸다.

실험결과 재료의 두께가 두꺼워 질수록 절단폭이 조금씩 증가함을 알 수 있었다. 이것은 재료의 두께가 두꺼워 질수록 열용량이 커져서, 상대적으로 절단가스에 의한 열손실이 작아지기 때문으로 사료된다. 그러므로, 시편두께가 매우 얇은 0.5 mm 판재의 경우 모재가 열을 함유할 두께방향 체적이 적어서 절단가스에 의하여 레이저에서 모재로 투입된 열이 보다 쉽게 소실되어 절단폭이 2 mm 인 경우보다 매우 작게 된다.

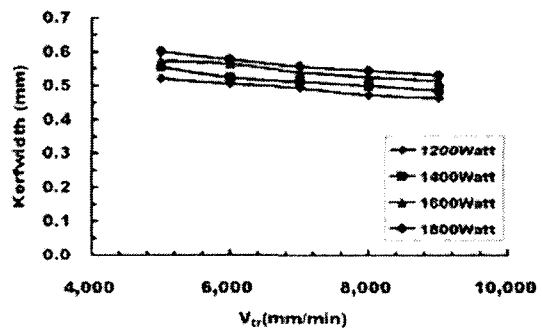


Fig. 3 Influence of travel speed and power of laser on kerfwidth (Thickness = 0.5 mm)

Fig. 3 은 시편두께 0.5 mm 일때 레이저 출력별 레이저 이송속력과 절단폭의 상관관계를 나타낸다.

실험결과 레이저 절단속력에 따라 절단폭이 선형적으로 감소함을 알 수 있었다. 또한, 레이저 출력이 증가 할수록 절단폭이 선형적으로 증가함을 알 수 있었다.

3.2 공정변수에 따른 표면조도의 변화

공정변수에 따른 최적의 가공조건을 도출하기 위하여 절단품질을 정량적으로 평가할 수 있는 절단면 표면조도 분석을 실시하였다.

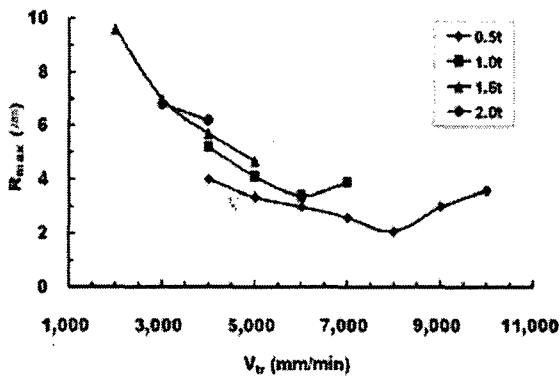


Fig. 4 Influence of travel speed of laser on the maximum roughness (Power = 1,200 Watt)

Fig. 4 은 시편 두께에 따른 절단 속력과 최대높이의 상관관계를 나타낸다. Fig. 4 에서와 같이 절단 시편의 두께가 두꺼워 질수록 표면 거칠기는 증가함을 알 수 있다. 또한, 절단속력이 증가할수록 표면조도가 감소하다가 임계속력 이후에는 표면조도가 증가하는 현상이 나타남을 알 수 있었다. 이 결과로부터 각 실험 조건별 표면조도가 최소화되는 최적 절단속력이 존재함을 알 수 있었다.

3.3 공정변수에 따른 물결무늬의 특성 변화

공정변수에 따른 물결무늬의 특성을 분석하기 위하여 물결무늬 생성주기 (Frequency of striation), 물결무늬 각도 (Angle of striation), 절단깊이와 파단깊이의 비 (Cut & break ratio) 에 대해서도 분석/고찰을 실시하였다

3.1.1 공정변수에 따른 물결무늬 생성 주기의 변화

공정변수가 절단면 물결무늬 생성 주기에 미치는 영향성에 대하여 분석/고찰을 수행하였다. 물결무늬 생성주기 (F) 는 식 (1) 과 같이 정의 하였다. 물결무늬 생성 주기는 100 µm 당 물결무늬 갯수 (N_i) 로 계산 하였으며, 물결무늬 생성주기 계산을 위한 각 일회당 측정길이 (L) 는 538 µm 이다.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^m N_i \times 100}{L} \quad (1)$$

Fig. 5 는 재료 두께 0.5 mm 일때 레이저 출력별 물결무늬 생성 주기와 레이저 절단속력의 상관관계를 나타낸다. 레이저 출력이 증가할수록 물결무늬 생성 주기가 감소함을 알 수 있었다. 또한, 레이저 절단속력이 증가할수록 물결무늬 생성주기가 증가하다가 임계 절단속력 이후에는 절단속력이 증가할수록 물결무늬 생성주기가 감소하는 것을 알 수 있었다.

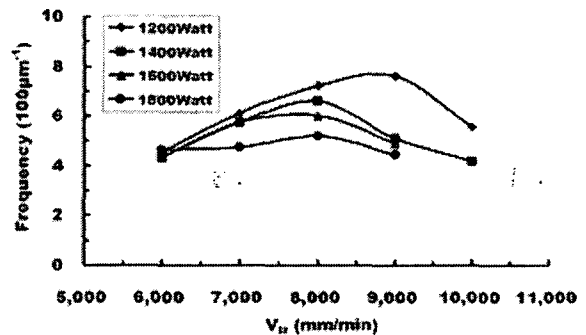


Fig. 5 Influence of travel speed and power of laser on the striation frequency (Thickness = 0.5 mm)

이 현상은 모든 두께에서 동일하게 나타났다. 이것은 임계속력 이전에는 절단속력이 증가할수록 물결무늬를 형성하는 미세 표면 요철의 진폭이 작아지면서 물결무늬 수가 증가하다가 임계속력 이후부터 다시 미세 표면 요철의 진폭이 증가하고 물결무늬 수가 감소하기 때문으로 사료된다.

3.1.2 공정변수에 따른 물결무늬 각도의 변화

Fig. 6 는 레이저 출력 1,400 Watt 에서 시편 두께별 물결무늬의 각도와 절단속력의 관계이다.

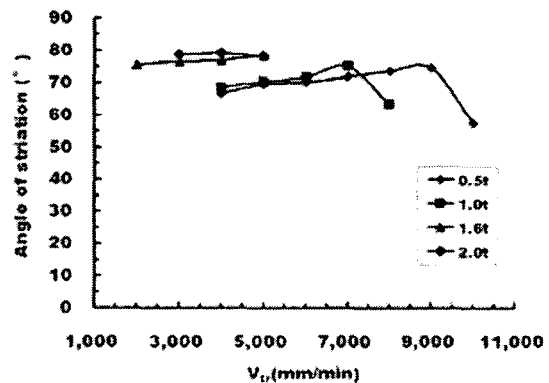


Fig. 6 Influence of travel speed and power of laser on the angle of striation (Power = 1,400 Watt)

절단속력이 증가시 거의 일정한 물결무늬 각도를 유지하다가, 임계속력 이후 절단속력 증가시 물결무늬 각도가 급격히 감소함을 알 수 있었다. 이 현상은 모든 출력에서 동일하게 나타났다.

3.1.2 공정변수에 따른 절단깊이와 파단깊이 비의 변화

공정변수에 따른 절단깊이와 파단깊이 비의 변화를 분석/고찰하였다. Fig. 7 은 두께 1.0 mm 일때 레이저 출력별 절단깊이와 파단깊이의 비의 절단속력에 대한 상관관계이다.

레이저 출력이 증가할수록 절단깊이와 파단깊이의 비가 감소하며, 레이저 절단속력이 증가할수록 파단깊이의 비가 증가함을 알 수 있었다.

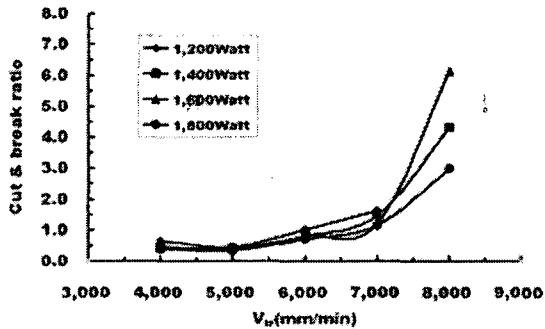


Fig. 7 Influence of travel speed and power of laser on cut & break ratio (Thickness = 1.0 mm)

4. 결론

본 연구에서는 고출력 연속파형 Nd:YAG 레이저의 CSP IN 박판재 절단시 공정변수의 절단폭 및 절단표면특성에 미치는 영향성에 대한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 레이저 절단속력과 절단폭은 거의 반비례의 관계, 레이저 출력과 절단폭은 비례관계에 있음을 알 수 있었다. 또한, 재료의 두께가 증가할수록 재료의 열용량이 증가하여 절단폭이 증가하는 것을 알 수 있었다.

둘째, 표면조도는 레이저 절단속력이 증가할수록 감소하다가 임계속력 이후 절단속력 증가시 표면조도가 급격히 증가하는 것을 알 수 있었다.

셋째, 물결무늬 생성주기는 레이저 출력이 증가할수록 감소하며, 레이저 절단속력이 증가할수록 물결무늬 생성주기가 증가하나, 임계속력 이후 물결무늬 생성주기가 급격히 감소하는 것을 알 수 있었다. 물결무늬 각도 변화는 절단속력이 증가할수록 거의 일정하다가 임계속력 이후 급격히 감소하였다. 절단깊이와 파단깊이 비는 절단속력이 증가

할수록 증가하였다. 특히, 임계속력 이후 절단깊이와 파단깊이 비가 급격히 증가함을 알 수 있었다.

향후, 고출력 CW Nd:YAG 레이저를 이용한 CSP IN 냉연강판의 고정밀 절단을 위하여 모서리 용융량과 열전달 특성에 대한 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 조선대학교의 지역협력연구센터사업(RRC) : 레이저 응용 신기술 개발사업에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Na, S. -J., Yang, Y. -S., Koo, H. -M., Kim, T. -K., "Effect of Shielding Gas Pressure in Laser Cutting of Sheet Metals," Transactions of the ASME ; Journal of Engineering Materials and Technology, Vol. 111, pp. 314-318, 1989.
2. Alope, R., Gurrish, V., Scrutton, R. F., Molian, P. A., "A Model for Prediction of Dimensional Tolerances of Laser Cut Holes in Mild Steel Thin Plates," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 37, pp. 1069-1087, 1997.
3. King, T. G., Powell, J., "Laser-Cut Mild Steel-Factors Affecting Edge Quality," International Journal of Wear, Vol. 109, pp. 135-144, 1986.
4. Olsen, F. O., "Cutting Front Formation in Laser Cutting," Annals of the CIRP, Vol. 38, No. 1, pp. 215-218, 1989.
5. Yilbas, B. S., "Laser Cutting Quality Assessment and Thermal Efficiency Analysis," Journal of Material Processing Technology, Vol. 155-156, pp. 2106-2115, 2004.
6. Ivarson, A., Powell, J., Kamalu J. and Magusson, C., "The Oxidation of Laser Cutting of Mild Steel and the Generation of Striations on the Cut Edge", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 40, pp. 359-374, 1994.