

다구찌 실험계획법에 의한 초경 합금의 최적 레이저 가공 조건의 결정

The Determination of the Optimal Laser Machining Condition for WC

Using Taguch Experimental Method Design

*박기범¹, 한성재², 황종대³, #정윤교⁴

* K. B. Park¹, S. J. Han², J. D. Hwang³, #Y. G. Jung⁴(ygjung@chanwon.ac.kr)

¹창원대학교 대학원 기계공학과, ^{2,4} 창원대학교 기계공학과, ³창원대학교 TIC

Key words :Taguch, Nd-YAG Laser Machine

1. 서론

초경합금은 고온에서 고경도, 고강도, 화학적 안정성, 저마찰 계수 및 내마멸성을 유지하는 뛰어난 재질적 특성을 보유하고 있으나, 가공이 어렵다는 특성을 가진다. 이러한 초경 합금에 대하여 다양한 가공방법이 시도되어지고 있고 그 중에서도 레이저빔을 이용한 가공이 주목을 받고 있다.⁽¹⁾

본 연구에서는 초경합금을 대상으로 Nd-YAG 레이저를 이용하여 최적 가공 조건을 도출하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위하여 다구찌 실험 계획법을 적용하고 실험 횟수를 최소화하며 비교를 위해 S45C에 대한 레이저 가공을 통하여 결과를 검토하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

실험에 사용된 레이저 가공기는 독일의 DMG사가 제작한 Nd-YAG 레이저 가공기(DMG40)로 PC에 의한 이송경로의 제어와 레이저빔의 출력제어가 가능하도록 구성 되어져 있다. 또한 가공정밀도를 높이기 위하여 가공중에 가공깊이를 측정할 수 있도록 측정 Probe가 가공기에 장착되어져 있다. Fig.1에서는 레이저 가공기의 모식도를, Table 1 에는 가공기의 사양을 나타내고 있다. 실험결과를 평가하기 위한 반응치로서 표면 거칠기는 Mytu toyo 사의 측정식 표면조도계를, 가공깊이의 측정은 3차원측정기(Brown & Sharpe 사제)를 사용하였다.

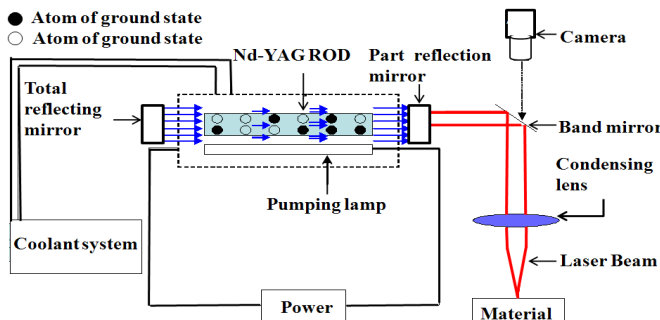


Fig.1 Schematic diagram of Nd-YAG laser machine

Table 1 Specification of Nd-YAG laser machine

Items	Specification	
Machining range	65 × 65 (mm)	
feeding range	X axis	400 (mm)
	Y axis	300 (mm)
	Z axis	500 (mm)
Laser diameter	0.004 ~ 0.1 (mm)	
Laser power	100W (Max.)	
Current (A) range	1(Min.) ~ 70(Max.)	
Frequency (KHz) range	4(Min.) ~ 50(Max.)	
Scanner head speed (mm/s) range	100(Min.) ~ 250(Max.)	

3. 다구찌 실험계획법의 적용

본 연구에서는 다구찌 실험 계획법을 이용하여 시편의 가공

깊이, 표면 거칠기에 가장 큰 영향을 주는 인자를 선정하였다. 가공 깊이는 0.3mm로 모델링 하였으며, 반응치가 잘 측정 되어질 수 있도록 설계하였다. 제어인자로서는 전류의 크기 주파수 및 스캐너 헤드 스피드, 층당 가공 깊이가 고려되었으며 정확한 가공 조건을 도출하기 위해 각 인자들의 최소에서 최대까지의 범위를 4수준으로 결정하였다. 인자들의 수준으로써 전류의 크기는 1, 30, 50, 70(A), 주파수는 4, 15, 35, 50(kHz) 스캐너 헤드 스피드는 100, 150, 200, 250(mm/s) 층당 가공 깊이는 0.03, 0.015, 0.01, 0.005(mm)로 각각 10 회, 20회, 30회, 60회로서 최종적으로 Table 2와 같다. Table 3 은 실험에 사용 한 4인자 4수준의 직교 배열표에 따른 실험 조건을 나타내고 있다.⁽²⁾

Table 2 Design scheme of process parameters and level

Factor symbol	Parameter	level 1	level 2	level 3	level 4
A	Current (A)	1	30	50	70
B	Frequency (KHz)	4	15	35	50
C	Scanner head speed (mm/s)	100	150	200	250
D	Depth of cut(mm)	0.03	0.015	0.01	0.005

Table 3 Orthogonal array table for L32(4⁴)

EXP.	Levels of control factor			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	1	4	4	4
5	1	1	1	2
6	1	2	2	1
7	1	3	3	4
8	1	4	4	3
9	2	1	2	3
10	2	2	1	4
11	2	3	4	1
12	2	4	3	2
13	2	1	2	4
14	2	2	1	3
15	2	3	4	2
16	2	4	3	1
17	3	1	4	1
18	3	2	3	2
19	3	3	2	3
20	3	4	1	4
21	3	1	4	2
22	3	2	3	1
23	3	3	2	4
24	3	4	1	3
25	4	1	3	3
26	4	2	4	4
27	4	3	1	1
28	4	4	2	2
29	4	1	3	4
30	4	2	4	3
31	4	3	1	2
32	4	4	2	1

4. 실험 결과 및 고찰

본 실험의 반응치인 가공깊이는 망목특성을, 표면 거칠기는 망소특성을 가지고 있으며 3회 반복측정 되어진 이들 반응치를 Table 4와 같은 수식으로 인자별 각 수준의 S/N비를 구하여 초경합금과 S45C의 실험 반응치인 가공깊이, 표면 거칠기 각각의 가공 조건을 결정할 수 있었다.

초경 합금 가공깊이는 전류의 크기가 30A, 주파수 15kHz 스캐너 헤드 스피드 100mm/s, 층당 가공 깊이 0.01mm(30회)의 조건이 최적임을 알 수 있으며, 표면 거칠기는 전류의 크기가 1A, 주파수 4kHz, 스캐너 헤드 스피드 250mm/s, 층당 가공 깊이 0.01mm(30회)의 조건이 최적임을 알 수 있었다. S45C 가공깊이는 전류의 크기가 50A, 주파수 15kHz, 스캐너 헤드 스피드 100mm/s, 층당 가공 깊이 0.005mm(60회)의 조건이 최적임을 알 수 있으며, 표면 거칠기는 전류의 크기가 1A, 주 파수 35kHz, 스캐너 헤드 스피드 250mm/s, 층당 가공 깊이 0.03mm(10회)의 조건이 최적임을 알 수 있었다.

Table 5,6은 각 요인의 각 수준의 S/N비의 합계로 평균화한 것이다. 실험반응치인 가공깊이, 표면 거칠기의 실험 반응치에 대한 각 실험의 S/N 비를 종합하여 평균값을 나타낸 표이다. 이것을 토대로 초경합금과 S45C의 실험 반응치인 가공깊이 표면 거칠기 2가지 항목을 모두 만족 시키는 최적 조건을 결정할 수 있었다.

최적 가공 조건은 그래프로 타나낸 Fig.2에서 보는 바와 같다. 이러한 과정을 통하여 가공깊이, 표면 거칠기에 대한 전류의 크기(A), 주파수(khz), 스캐너 헤드 스피드(mm/s), 층당 가공 깊이의 최적 조건을 찾을 수 있었다. 초경합금의 최적조건 은 전류의 크기 30A, 주파수 4kHz, 스캐너 헤드 스피드 100mm/s 층당 가공 깊이 0.01mm(30회)이었으며, S45C의 최적 조건은 전류의 크기 1A, 주파수 15kHz, 스캐너 헤드 스피드 100mm/s 층당 가공 깊이 0.005mm(60회)였다. 이렇게 최종적으로 도출된 가공 깊이, 표면 거칠기에 대한 최적 가공 조건으로 검증 실험을 실시하였다. 그 결과가 Table 7이다.

망목특성의 특성치를 가지는 가공깊이 0.3mm에 근접하게 가공이 되었으며 망소특성의 특성치를 가지는 표면 거칠기 도 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

Table 4 Formula of nominal-is-best characteristics & smaller-the-better characteristics

Nominal-is-best characteristics	Smaller-the-better characteristics
$20\log\left(\frac{\bar{y}}{s}\right)$	$-10\log\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n y_i^2\right]$

Table 5 Average S/N ratio for each level of WC (optimal cutting condition)

level	Factor			
	A	B	C	D
1	-2.6381	-1.7555	-2.1839	-2.7274
2	-1.8731	-2.0799	-2.3014	-2.5515
3	-2.4991	-2.9344	-2.5539	-2.1343
4	-2.7250	-2.9656	-2.6961	-2.3221

Table 6 Average S/N ratio for each level of S45C (optimal cutting condition)

level	Factor			
	A	B	C	D
1	-1.9637	-2.0835	-1.6594	-2.2394
2	-2.3256	-1.9744	-2.0869	-2.4749
3	-2.1396	-2.0213	-2.6773	-2.3830
4	-2.4546	-2.8042	-2.4598	-1.7862

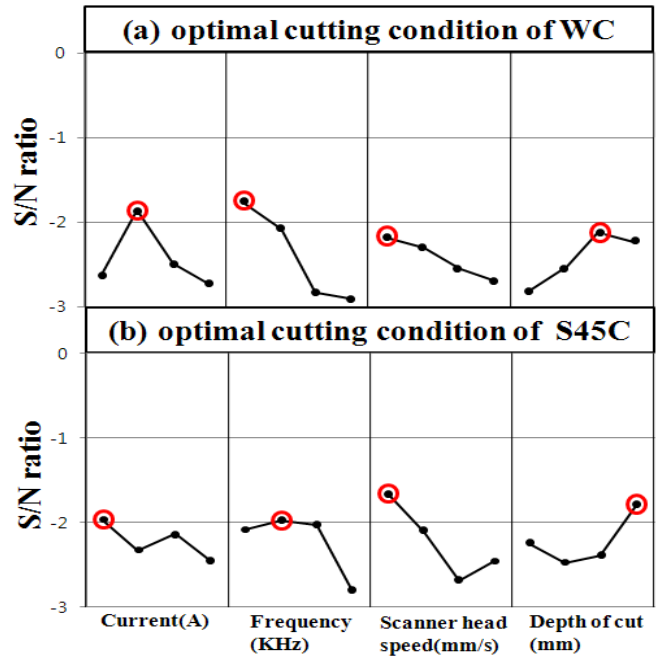


Fig.2 Main effect plot for average S/N ratio of WC & S45C

Table 7 Evidence result of WC & S45C

	WC	S45C
Machining depth(mm)	0.305	0.257
Surface of roughness(μm)	1.966	1.276

5. 결론

1. 초경합금의 최적 조건은 전류의 크기 30A, 주파수 4kHz 스캐너 헤드 스피드 100mm/s, 층당 가공 깊이 0.01mm(30회)였으며, S45C의 최적 조건은 전류의 크기 1A, 주파수 15kHz 스캐너 헤드 스피드 100mm/s, 층당 가공 깊이 0.005mm(60회)였다.
2. 초경 합금은 난삭재 임에도 불구하고 S45C와 유사한 최적 가공조건을 가졌으며 난삭재를 가공 할 시에는 비접촉 가공 방법을 가지는 레이저 가공이 효율적이다.

후기

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업(RTI 04-01-03)지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. Chen-Hao Lia, Ming-Jong Tsaia,, Ciann-Dong Yan gb "Study of optimal laser parameters for cutting QFN packages by Taguchi's matrix method" Optics & Laser Technology 39 (2007) 786 - 95
2. Avanish Kumar Dubey, Vinod Yadava "Multi-objective optimization of Nd:YAG laser cutting of nickel-based super alloy sheet using orthogonal array with principal component analysis" Optics and Lasers in Engineering 46 (2008) 124-132