

초음파를 이용한 세라믹의 미세구멍 가공 Micro-Hole Machining for Ceramic Using Ultrasonic Machining

*유근위¹, 김건¹, #고태조²

*J. W. Liu¹, J. Jin¹, #T. J. Ko(tjko@yu.ac.kr)²

¹영남대학교 대학원 기계공학과, ²영남대학교 기계공학부

Key words : Ultrasonic Machining, Micro-Hole, Ceramic

1. 서론

초음파 가공(Ultrasonic Machining: USM)은 새로운 기계가공기술 분야중의 하나이다. 주로 반도체, 전자부품, 항공기, 자동차부품 및 기타 분야 등에 사용된다. 초음파 가공은 공구에 초음파를 발생시켜 공작물에 진동과 압력을 이용하여 가공하는 방법이다. 가공원리는 공구와 공작물 사이에 공급되는 미세입자를 초음파 진동을 이용하여 공작물 표면에 충격을 가한다. 그러면 공작물 표면이 지속적으로 충격을 받게 되어 재료가 제거되는 방식이다. 초음파 가공은 비열, 비화학, 그리고 비전도의 방법이기 때문에 공작물 재료의 물리, 화학적 변화가 없다. 이러한 특성으로 인해 초음파 가공기술은 취성재료의 가공에 적합하다.

본 논문에서는 초경재료의 미세 구멍 가공에서 입구 및 출구 구멍에서 발생하는 크랙을 감소하기 위한 가공조건을 다구찌 실험방법을 통하여 최적화 하였다.

2. 다구찌 방법을 이용한 실험

본 실험에서 사용된 초음파 기계 및 가공 원리를 Fig. 1 나타냈다. 초음파 가공 실험조건을 Table 1 나타냈다.

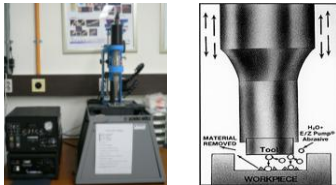


Fig.1 Compact 500W machine and principle of USM

다구찌 실험방법을 이용하기 전에 인자 및

Table 1 Experiment Conditions

Items	Type	
	Ultrasonic Unit	Frequency (kHz)
Feed rate (um/s)		1.7, 2.5, 5
Air Pressure (kPa)		50
Abrasive material	Aluminum Oxide #1000	
Slurry ratio (abrasive : water)	1 : 1, 1 : 2, 1 : 3	
Tool	Material (Φ)	Hard metal(1 mm)
	Length (mm)	7.5, 12.5, 17.5
Workpiece	Alumina ceramics(Al ₂ O ₃ 96%):0.5T	

수준을 선정해야 된다. 초음파 가공에서 다양한 인자가 크랙을 결정한다. 이러한 인자들의 영향을 파악하기 위하여 모든 인자들의 조합을 고려해야 된다.

이 방법 중에서 SN 비는 목적함수, 즉 특성치에 의해 그 정의가 달라지게 되는데 특성치는 망목, 망소, 망대특성으로 나뉘어진다. 본 실험에서 크랙이 작을 수록 좋은 망소 특성임으로 망소특성 분석에 준하여 실행하였다. 망소특성의 SN 비는 식(1)이다.

$$SN = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (1)$$

식 (1)에서 n 는 측정값의 수를 나타내고 Y_i 는 측정된 특성값을 나타낸다. 예비실험을 통하여 초음파 가공에서 크랙에 영향을 미칠 수 있는 인자 및 수준을 선정하였고 이를 Table 2 에 나타냈다.

Table 2 Four factors and three levels

Control factors	Des.	Lev.1	Lev.2	Lev.3
Ultrasonic power	A	20	40	60
Feed rate (um/s)	B	1.7	2.5	5
Slurry ratio	C	1:1	1:2	1:3
Tool length (mm)	D	7.5	12.5	17.5

실험계획법에서 직교배열표를 사용한다. 본 실험에서는 총 9 번의 실험횟수를 가지는 4 인

자 3 수준계 직교배열표(L₉3⁴)를 적용하였다.

Table 3 에는 인자들을 배치하였고 두 개의 수준에 해당되는 값들을 정하여 나타냈다.

Table 3 L₉ orthogonal arrays and experimental results

Exp. No.	A	B	C	D	Entrance crack(um)	Exit crack (um)
1	1	1	1	1	17.36	316.06
2	1	2	2	2	20.96	200.21
3	1	3	3	3	11.97	830.78
4	2	1	2	3	108.98	206.01
5	2	2	3	1	15.71	345.16
6	2	3	1	2	12.96	380.27
7	3	1	3	2	284.63	1788.28
8	3	2	1	3	56.26	585.37
9	3	3	2	1	14.91	495.04

3. 결과

Fig.2 는 SEM 이용한 구멍의 절단면사진이다. 망소특성의 SN 비를 계산하여 Table 4 에 나타냈다.

Table 4 SN ratio of entrance and exit crack

Exp. No.	En. crack(um)	Ex. crack (um)
1	-24.79	-49.99
2	-26.43	-46.03
3	-21.56	-58.39
4	-40.75	-46.28
5	-23.92	-50.76
6	-22.25	-51.60
7	-49.09	-65.05
8	-35.00	-55.35
9	-23.47	-53.89

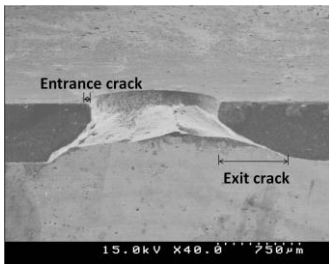


Fig.2 Micro-hole cross section SEM image

이렇게 구한 SN 비를 이용하여 각 인자와 수준의 효과를 구한다. A₁ 을 구한 예는 다음과 같다.

$$A_1 = \frac{(-24.79) + (-26.43) + (-21.56)}{3} = -24.26$$

같은 방법으로 각 인자와 수준의 효과를 계산한다. 이때 편차(deviation)는 인자의 수준별

효과의 최대값과 최소값의 차이를 뜻하며 기여율(percentage contribution)은 전 수준의 합에 대한 백분율로 나타낸다. 같은 방법으로 계산한 인자 및 수준의 효과를 Table 5-6 에 나타내었다.

Table 5 Factors affecting the entrance crack

Des.	1	2	3	Dev.	PC (%)
A	-24.26	-28.97	-35.85	11.59	28.9
B	-38.21	-28.45	-22.43	15.78	39.4
C	-27.35	-30.22	-31.52	4.17	10.4
D	-24.06	-32.59	-32.44	8.53	21.3
Total				40.07	100

Table 6 Factors affecting the exit crack

Des.	1	2	3	Dev.	PC (%)
A	-51.47	-49.55	-58.09	8.54	34.9
B	-53.77	-50.71	-54.63	3.92	16.0
C	-52.31	-48.73	-58.07	9.34	38.2
D	-51.55	-54.22	-53.34	2.67	10.9
Total				24.47	100

Table 5-6 에서 각 인자와 수준의 효과를 비교하여 최적의 인자별 수준을 찾으면 A₂, B₃, C₂, D₁ 가 된다. 이 가공조건으로 가공할 때 크랙을 줄일 수 있다.

4. 결론

취성재료 가공할 때 크랙을 줄이기 위해서 본 실험에서는 다구찌방법을 통해서 초음파를 이용한 세라믹 미세구멍을 가공하였다. 본 실험을 통하여 크랙이 줄어드는 최적의 가공조건을 얻었다. 이 방법은 다양한 크기의 형상에 대해 가공하기 전에 적합한 가공조건을 결정하는데 이용할 수 있다.

참고문헌

1. Sung-Jun Park, Bong-Gu Lee, "Micro Hole Machining for Ceramics Using Ultrasonic Vibration" Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol.13, No.2, 2004.4.
2. Nam-Kook Baek, Dae-Eun Kim, "Optimization of Laser Lithography Micro patterning Technique based on Taguchi Method" Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 19, No. 7, 2002.6.