

## 밀봉형CO<sub>2</sub>레이자에 의한 자기재료가공에서 가공파라미터들사이의 관계

안 경 일

위대한 수령 김일성 동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학기술을 발전시키면 어떤 문제든지 다 해결할수 있습니다.》(《김일성전집》 제27권 270페이지)

레이자로 집서기구멍을 가공할 때 구멍의 크기, 깊이, 가로세로비, 구멍프로필과 같은 구멍파라미터와 구멍가공시간 등은 레이자의 출력(출력밀도), 집초크기, 빛분포각(빛원추각), 가공결면으로부터 초점의 상대적위치 등과 같은 레이자가공파라미터의 영향을 받는다.[1, 2]

본문에서는 연속발진밀봉형CO<sub>2</sub>레이자를 리용하여 명주실집서기의 구멍을 가공할 때 구멍파라미터에 미치는 레이자출력밀도의 영향을 해석하고 가공특성을 개선하기 위한 모형을 제기하였다.

명주실집서기의 구멍가공체계구성도는 그림 1과 같다.

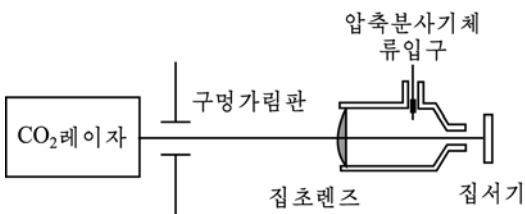


그림 1. 명주실집서기의 구멍가공체계구성도

밀봉형CO<sub>2</sub>레이자의 기본모드를 ZnSe 평볼록렌즈로 집초시키고 최소퍼짐원의 위치(평볼록렌즈로 집초시키는 경우 집초반점의 크기는 170 $\mu$ m이다.[1])에 두께가 300 $\mu$ m인 집서기를 설치하였다. 실험은 압축분사기체조건에서 진행하였다.

실험에서는 레이자의 방전전류를 조절하여 출력을 변화시키면서 구멍을 가공하였다.

출력밀도에 따르는 구멍크기변화는 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 출력밀도가 증가함에 따라 실제로 가공되는 구멍크기는 초기에는 급격히 커지다가 점차 완만하게 커진다. 즉 출력이 클수록 출력밀도변화에 따르는 구멍크기변화는 작아진다.

구멍가공에 필요한 최소출력밀도는 약  $0.6 \cdot 10^5 \text{ W/cm}^2$ 로서 이보다 작은 출력밀도에서는 거의 구멍이 관통되지 않았으며 일부 관통되는 경우에도 관통시간이 출력밀도가 매우 클 때보다 대단히 길고 열영향층의 두께도 더 두터워졌다.

또한 출력밀도가  $(0.65 \sim 0.67) \cdot 10^5 \text{ W/cm}^2$ 일 때(출력 16~17W, 집초반점크기 160~170 $\mu$ m) 용융물제거에 의한 비산현상이 일어났다. 용융물제거에 의한 비산현상이 일어나기 시작하는 출력밀도값이 구멍가공에 필요한 최소출력밀도값과 거의 근사한 실험적사실로부터 증발제거만으로는 구멍을 가공하기 어렵다는것을 알수 있다. 따라서 명주실집서기의 구멍을 가공

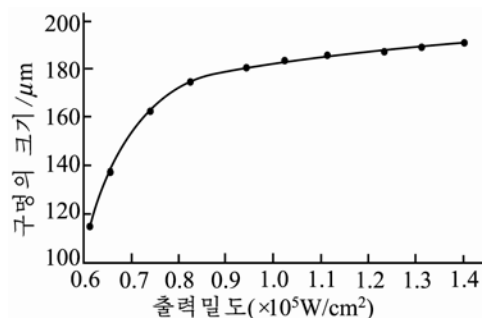


그림 2. 출력밀도에 따르는  
구멍크기변화

하려면 출력밀도를 최소한  $0.65 \cdot 10^5 \text{ W/cm}^2$  로 보장하여야 하며 구멍크기까지 고려하는 경우에는  $0.75 \cdot 10^5 \text{ W/cm}^2$  로 보장하여야 한다.

집서기설치오차로 인한 집초반점크기변화와 레이저출력요동으로 인한 출력밀도변화를 고려하자면 구멍크기변화가 완만한 높은 출력밀도대역에서 구멍을 가공하여야 가공실수율을 높일수 있다. 이로부터 실지 구멍가공조건과 가공실수율까지 고려하는 경우 레이저출력밀도를  $1 \cdot 10^5 \text{ W/cm}^2$  (출력 32W) 정도로 보장하여야 한다.

실험에서 얻은 구멍크기변화특성을 이론적으로 해석하기 위하여 다음과 같은 해석모형을 제기하였다.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_r \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \lambda_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

여기서  $r$  와  $z$  는 각각 원기둥자리표의 동경 및 축방향자리표이고  $\rho$  와  $c$  는 각각 재료의 밀도와 열용량,  $\lambda_r$  와  $\lambda_z$  는  $r$  및  $z$  방향에서의 열전도도로서 레이저가  $z$  방향으로 입사한다고 볼 때  $\lambda_z$  의 경계조건은 다음과 같다.

$$\lambda_z = \begin{cases} \lambda_r = \lambda_0, & T \leq T_m \\ \infty, & T > T_m \end{cases}$$

$$\lambda_z \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right)_{z=0} = \gamma [\beta \cdot I(r) - \alpha (T|_{z=0} - T|_{\infty}) - \sigma (T|_{z=0}^4 - T|_{\infty}^4)]$$

$$\lambda_z \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right)_{z=h} = -\alpha (T|_{z=h} - T|_{\infty}) - \sigma (T|_{z=h}^4 - T|_{\infty}^4)$$

여기서  $\lambda_0$ ,  $T_m$ ,  $h$  는 각각 재료의 열전도도, 증발온도, 두께,  $\alpha$  는 대류열전달계수,  $\sigma$  는 복사상수,  $\beta$  는 재료에서 레이저의 흡수계수,  $\gamma$  는 증발온도 도달시간  $t_m$  과 증발시간  $t_e$  를 고려한 보정계수로서 다음과 같이 표시된다.

$$\gamma = \begin{cases} 1, & T_{z=0} \leq T_m \\ \gamma_m = \frac{t_m}{t_m + t_e}, & T_{z=0} > T_m \end{cases}$$

모의에서 도자기판의 재료상수들인 밀도  $\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$ , 열용량  $c = 878 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ , 열전도도  $\lambda_0 = 1.5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ , 증발온도  $T_m = 2500^\circ \text{C}$  [3], 두께  $h = 300 \mu\text{m}$ , 대류열전달계수  $\alpha = 100 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$  [3]으로 하였으며  $\beta$  는 0.8로 설정하였다.

이러한 모의에 기초하여 출력밀도에 따르는 구멍크기변화를 계산한 결과는 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 이론값이 실험값보다 11% 정도 작다. 이것은 이론적해석에서 출력밀도가 어떤 턱값보다 큰 경우 용융제거가 동반되는것을 고려하지 못하였기때문이다. 그렇지만 출력밀도에 따르는 구멍크기의 변화특성이 매우 비슷하며 출력밀도가 큰 대역에서 이러한 오차를 고려하면 출력밀도에 따르는 가공구멍크기변화를 모의할수 있다는것을 알수 있다.

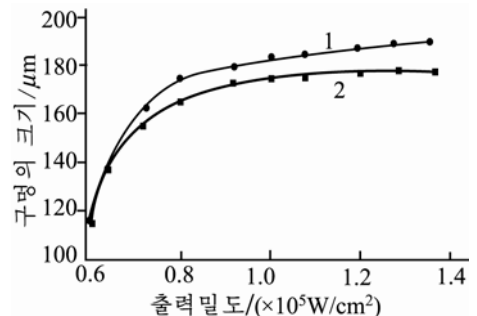


그림 3. 출력밀도에 따르는 구멍크기 변화계산결과  
1-실험값, 2-이론값

## 참 고 문 헌

- [1] 림윤철 등; 레이자가공기술, 봉화출판사, 32~40, 1993.
- [2] E. W. Colin; Handbook of Laser Technology and Applications, Institute of Physics Publishing, 28~30, 2004.
- [3] Bekir Sami Yilbas; Laser Drilling, Springer, 8~13, 2013.

주체106(2017)년 12월 5일 원고접수

## **Relation between the Processing Parameters in Drilling of Ceramic Materials by a Sealed CO<sub>2</sub> Laser**

*An Kyong Il*

We made clear that drilling of a silk collector needs a power density of  $0.65 \cdot 10^5 \text{ W/cm}^2$  at least and in case of considering the size of a hole it needs about  $0.75 \cdot 10^5 \text{ W/cm}^2$ .

In case of considering the condition and the yield of real drilling we can know that it needs a power density of laser of about  $1 \cdot 10^5 \text{ W/cm}^2$ .

Key words: CO<sub>2</sub> laser, power density, silk collector, drilling