

## 레이자금속착공에서 합리적인 파라미터결정에 대한 연구

안철남, 리금철

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《나라의 과학기술을 세계적수준에 올려세우자면 발전된 과학기술을 받아들이는것과 함께 새로운 과학기술분야를 개척하고 그 성과를 인민경제에 적극 받아들여야 합니다.》(《김정일선집》증보판 제11권 138~139페이지)

레이자가 금속표면을 가열하는 과정에 금속재료표면에서는 상변환, 녹음, 증발이 일어나고 금속증기와 플라즈마팽창으로 생기는 열폭풍파의 충격을 받게 되며 금속내부에서는 열압축충격파의 작용을 받게 된다.

우리는 센 레이자빔이 금속과 호상작용할 때 금속의 착공깊이를 계산하여 정확한 레이자착공파라미터들을 결정할수 있는 한가지 방법을 제기하였다.

레이자임펄스폭이 0.1ms 정도이고 레이자출력밀도가  $10^7 \sim 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 일 때 금속안에서는 온도상승과 녹음현상외에도 증발현상이 일어난다. 레이자착공때 재료의 증발량은 재료의 열확산도, 비중발열 및 재료표면의 반사률에 관계된다.[1-3] 만일 열전도손실과 재료표면에서의 반사를 무시한다면 증발량은 비중발열로부터 결정할수 있다.

레이자의 작용에 의해 재료에서 생기는 최대착공깊이  $D$ 는 다음 식으로 구할수 있다.

$$D = E_0 / A\rho[c(T_b - T_0) + L_v + L_f] \quad (1)$$

여기서  $c$ 는 비열,  $T_b$ 는 재료의 끓음점,  $T_0$ 은 재료의 초기온도,  $L_f$ 는 재료의 비녹음열,  $L_v$ 는 재료의 비중발열,  $\rho$ 는 밀도,  $E_0$ 은 레이자임펄스에너지,  $A$ 는 재료표면우에 있는 레이자빔반점면적이다.

식 (1)을 리용하면 레이자착공에 필요한 에너지와 착공깊이, 착공시간을 계산할수 있다.

실례로 Nd유리레이자를 리용하여 아연판에 깊이가 0.05cm이고 직경이 0.011 43cm인 통구멍을 뚫는데 필요한 임펄스에너지와 시간 및 착공의 증발속도를 계산하자.

레이자빔뭉음의 빛반점크기가 0.012 7cm(Nd유리레이자의 파장은  $1.06 \mu\text{m}$ )이고 열에너지의 평형체적이 구멍의 체적이라고 하면 필요한 최대레이자임펄스에너지는 다음과 같다.

$$E_0 = \rho V[c(T_b - T_0') + L_v + L_f] \quad (2)$$

여기서 구멍의 체적은  $V = \pi d^2 h / 4 \approx 5.127 \times 10^{-6} \text{ cm}^3$ 이다.

아연의 열물성파라미터들을 식 (2)에 대입하면  $E_0 = 0.019 \text{ 44J}$ 이며  $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ 인 레이자에 대한 아연판의 흡수를 고려하면  $E'_0 = E_0 / (1 - R) = 0.019 \text{ 44} / (1 - 0.7) = 64.8 \text{ mJ}$ 을 얻는다.

재료표면이 끓음점에 도달하는데 필요한 시간은 다음과 같다.

$$t_v = \frac{\pi}{4} \frac{K\rho c}{(1 - R)^2 I^2} (T_b - T_0)^2 \quad (3)$$

레이자빔세기 ( $I = P/A$ )로부터 레이자출력은  $P = E_0/\tau = 0.3/10^{-4} = 3 \times 10^3 \text{ W}$  ( $\tau$ 는 임펄스지속시간,  $P$ 는 봉우리값출력)이고  $A = \pi d^2/4 = 1.27 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$  이므로  $I = 2.4 \times 10^7 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$  이고  $t_v \approx 2.1 \times 10^{-9} \text{ s}$ 이다.

따라서 재료의 증발속도는  $v = \frac{(1-R)E_0/(\tau\pi\omega^2)}{\rho[c(T_b - T_0) + L_v + L_f]} \approx 1.935 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.

우에서 서술한 재료의 증발속도에 의하여 아연판에 1개의 구멍을 뚫는데 필요한 시간이  $105 \mu\text{s}$ 라는것을 계산할수 있다.

이로부터 우리는 두께가  $0.05 \text{ cm}$ 인 아연판에 직경이  $0.01143 \text{ cm}$ 인 구멍을 뚫는데 임펄스폭이  $0.1 \text{ ms}$ 이고 임펄스에너르기가  $0.3 \text{ J}$ 인 Nd유리레이자를 리용하였다.

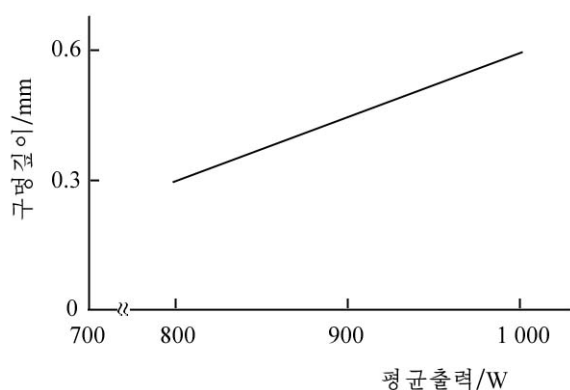


그림. 평균출력에 따르는 구멍깊이변화

집초빔반점의 면적이  $3.3 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ 이고 임펄스에너르기가  $0.8 \text{ J}$ 이라고 할 때 알루미늄판의 최대구멍깊이는 대략  $0.65 \text{ mm}$ 로 계산할수 있다.

평균출력에 따르는 구멍깊이변화는 그림과 같다.

그림에서 보는바와 같이 Nd유리레이자를 리용하여 알루미늄판에 구멍을 뚫을 때 얻어진 실험결과는 식 (1)의 계산값과 기본적으로 일치한다.

우리는 레이자를 리용하여 금속작공을 진행할 때 금속의 종류와 구멍크기에 따르는 합리적인 레이자 파라메터들을 결정할수 있게 함으로써 작공의 질과 속도를 높일수 있게 하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김려명 등; 레이자물리, 김일성종합대학출판사, 23~67, 주체99(2010).
- [2] Y. Matsuura et al.; Opt. Laser Techn., 33, 279, 2009.
- [3] G. G. Gladush et al.; Physics of Laser Materials Processing, Springer, 230~260, 2011.

주체104(2015)년 4월 5일 원고접수

## Determination of Reasonable Parameters for Laser Drilling on Metal

An Chol Nam, Ri Kum Chol

We suggested a method which enables to determine reasonable parameters by calculating drilling-depth of metal when metal is drilled using intense laser beam.

Key word: laser beam