

## 세라믹 코팅층의 레이저 가공 Laser Engraving of Plasma Sprayed Ceramic Coatings

방세윤\*, 이형근\*, 서동수\*\*

\* 한국기계연구원

\*\* 충남대학교

### 1. 서 론

세라믹 코팅된 anilox roll은 마모나 ink에 의한 부식에 강하기 때문에 정밀 인쇄에 있어서 수명을 크게 향상시키며, 품질을 향상시킨다[1]. 이러한 세라믹 anilox roll은 ink의 저장 을 위해 홈가공이 필요하며, 대표적인 방법으로 laser에 의한 engraving이 사용된다.

본 연구에서는 세라믹 용사층의 레이저 정밀가공-engraving을 수행하고, 특히 레이저 가공조건이 플라즈마 용사된  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  세라믹 용사층의 홈가공에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 현재 이러한 목적의 세라믹 engraving을 위해서는 pulse type의  $\text{CO}_2$  laser나 Nd:YAG laser[2]가 사용되고 있으나, 여기서는 사용 레이저를 Nd:YAG 레이저로 한정하고, 각 변수의 영향을 검토하고 최적 가공조건을 찾아 보았다.

### 2. 실 험

#### 2.1 실험재료 및 레이저 가공기

Laser engraving을 위한 시편은 SM45C의 모재 위에 플라즈마 용사로 세라믹 코팅층을 얻었다. 실험은  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -5wt%  $\text{SiO}_2$  세라믹(METCO 136 분말)을 대상으로 하였으며, 플라즈마 용사된 시편을  $1\mu\text{m}$ 까지 polishing한 후 레이저 engraving 실험을 하였다.

실험에 사용된 Nd:YAG 레이저 가공기의 발전부는 Lumonics사에서 제작하였다. 동 가공기는 특히 정밀 절단과 미세한 천공 작업시 spot size/beam divergence의 감소를 위해 공진기를 교체(LD1 공진기)할 수 있게 되어 있으며, 이때 평균출력은 75W, 펄스 에너지는 0.2-10J, 펄스폭은 0.5-5ms, 펄스반복율은 7-200Hz 이내에서 조정 가능하다. 실험장치의 구성도는 Fig. 1과 같다.

예비실험을 통해 보유 레이저의 출력 에너지가 사용 목적에 적합하지 않을 정도로 큰 것으로 판명되었다. 이를 해결하기 위해 본 실험에서는 카메라용의 ND filter를 사용해 빔에너지를 약화시켜 사용하였다. 실험에 사용된 펄스는 예비실험을 통해 결정되었으며, 3-sector의 complex pulse이다.

#### 2.2 실험조건

가공을 위한 변수는 여러 가지가 있을 수 있으나, 여기서는 예비실험의 결과를 토대로 하였다. 즉 보조개스는 질소를 주로 사용하였으며, Ar과 dry air의 결과를 간단히 비교해 보았다. 개스압력의 영향은 다른 변수에 비해 미미한 것으로 판단, 0.2MPa에 고정하였다. simple pulse의 사용시 가공형상이 불량해 본 실험은 complex pulse를 사용하였으며 3 sector로 이루어진 complex pulse가 만족스러운 결과를 주는 것으로 나타났다. 초점의 위치도 가변시켜 보았으며, 특히 BET(Beam Expanding Telescope)의 조정후 ND filter를 삽입하게 되어 실제 초점이 정확하게 맺히는 z-축 위치의 판단에 애로 사항이 있었다. 따라서 ND filter를 바꾸어 실험할 경우에는 초점의 위치를 변화해 가며 최적조건을 찾아 그 위치에서 pulse energy를 변화해 실험하였다.

1차적으로 시편을 고정된 상태에서 단발 pulse를 조사, 가공된 형태를 광학현미경으로 대략적으로 살펴 보았으며, 최적 변수를 찾은 후 시편을 일정속도로 이송해 가면서 펄스반복

을 R= 30Hz의 pulse로 가공하였다. 표준 실험조건은 시편= Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-5wt% SiO<sub>2</sub> 세라믹, 보조개스는 2기압의 질소, 펄스반복율 R=30Hz, 이송속도=400mm/min, 사용펄스=sector 폭 1.0/1.7/1.0ms의 3 sector로 구성된 complex pulse이다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

실험조건중 대표적인 조건으로 가공된 시편의 홈형상 및 단면을 Photo. 1에 보인다.

#### 3.1 초점의 위치에 따른 홈형상 변화

실험중 1차로 CCD 카메라의 초점(Video Monitor상에 재료 표면의 상이 가장 선명하게 맺히는 위치)을 결정한 후, z-축을 Δf 만큼 변화시켜 가공했을 때 가장 원형에 가까운 형상을 얻는 위치를 구하였으며 이 위치를 Nd:YAG 레이저의 초점위치로 간주하였다. Δf를 80-480μm으로 변화시킬 때 홈의 직경(D) 및 깊이(H)의 변화를 Fig. 2에 보인다.

#### 3.2 펄스 에너지에 따른 변화

LD1 resonator를 사용할 때 초점의 최소 직경(d)은 70μm정도이다. 펄스 에너지를 E(J/pulse), 펄스폭을 W(ms), 펄스반복율(pulse repetition rate)을 R이라 하면, 평균출력 Pa=ER (Watts), 첨두출력 V=E/W (kW), 초점의 면적 A=πd<sup>2</sup>/4 로 나타내진다. 이때 단위 면적당의 레이저빔 조사량 (또는 에너지밀도) I (W/cm<sup>2</sup>)는, I=V/A = E/(WA) 에서 구할 수 있다.

실제로 재료에 조사되는 값은 filter 사용시에는 일정비율만큼 감소되게 된다. NDx8 filter의 경우 실험적으로 약 1/36 만큼 감소된다고 추정되며, 이 값을 이용해 I<sub>NDx8</sub>= I/36 값을 구하였으며, NDx4 filter의 경우 0.02/0.065=4/13 만큼 감소하는 것으로, 즉 I<sub>NDx4</sub>= I/(4/13), 계산하였다. Complex pulse의 경우에도 총 펄스폭(각 sector 폭의 합)을 이용, 위의 식에 의거, I 값을 구하였으며 그림상의 에너지밀도값은 이렇게 구해진 실제 재료에 조사되는 에너지밀도값이다.

Fig. 3에 위의 세 경우를 같이 비교해 한 그래프상에 나타내 보인다. 그림에서 ND filter 사용시의 에너지 투과량에 관한 오차가 있음을 감안하면, 에너지밀도와 홈직경, 깊이의 변화 pattern은 세 경우 모두 아주 유사함을 알 수 있다.

#### 3.3 보조 가스의 영향

보조가스가 홈가공에 미치는 영향을 살펴 보기 위해 일정 조건에서 N<sub>2</sub>, Ar, dry-air를 사용했을 때 표면의 형상을 Photo. 2에 비교해 보인다. N<sub>2</sub>와 Ar의 경우는 표면에서의 모양 및 색이 거의 유사하였으며, dry-air를 사용할 경우는 표면에서의 변색을 볼 수 있으나 광학현미경으로 관찰된 홈형상은 차이가 없다. 이로 미루어 최소한 실험에 사용된 세 가지 보조개스- N<sub>2</sub>, Ar, dry-air- 의 차이는 없는 것으로 보이며, 고가의 Ar 대신 N<sub>2</sub>나 dry-air를 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 4. 결 론

이상의 실험결과를 종합해 보면 다음과 같다.

- (i) 실험결과 직경 80-120μm, 깊이 30-500μm까지의 가공이 가능하며, 깊이는 펄스당 에너지 밀도를 증가함에 따라 깊어진다. 홈의 직경은 에너지밀도보다는 초점의 크기가 다른 렌즈를 이용해 조절할 수 있을 것으로 보인다.
- (ii) 홈의 형상은 표면에서 거의 원형이고, aspect ratio가 작은 경우 벽면이 거칠고 기공이 많이 관찰되며, aspect ratio가 커질 수록 벽면이 매끄러워진다.
- (iii) 보조 가스는 N<sub>2</sub>, Ar, dry-air의 차이는 없는 것으로 판단되며, dry-air 사용시 시편 표면이 변색되지만 가공형상에는 영향을 미치지 않는다.

(iv) 모든 홈에서 용융층의 재응고에 의한 debris가 생기며, 급속한 재응고때문으로 보이는 crack이 관찰된다. Debris는 레이저 가공후 표면 연마에 의해 제거하게 되지만 심한 경우 인접 hole을 메울 우려가 있고, crack은 내마모성의 열하를 야기할 수 있으므로 지속적인 연구를 통해 해결해야 할 것으로 보인다.

## 5. 참고문헌

1. 충남대학교, "플라즈마 세라믹 용사법에 의한 Anilox Roll 제조기술 개발", 연구보고서, 상공부, 1993
2. Tönshoff H. K., Sturmer M., Overmeyer L. and Alvensleben F. : "Lasertexturing of Technical Surfaces," Laser und Optoelektronik, Vol. 25, No. 2, 1993, pp. 56-61

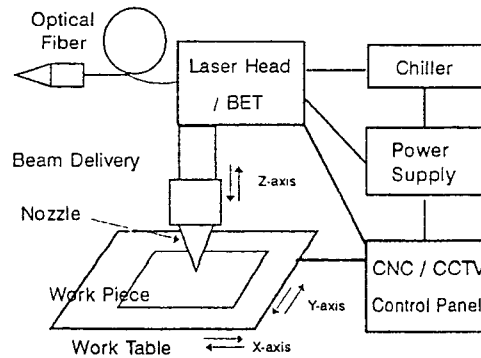


Fig. 1. Schematic diagram of laser machining system



Photo. 1. Top view and cross-section of laser engraved sample (SEM photograph) (NDx8 filter, velocity=400mm/min, focus at sample surface, pulse height=18/31/18%, pulse width=1.0/1.7/1.0ms, 30Hz, assist gas=0.2MPa, N<sub>2</sub>)

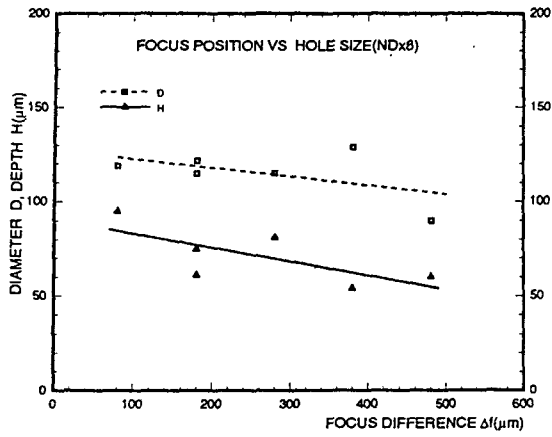


Fig. 2. Effects of focus position on the hole-shape

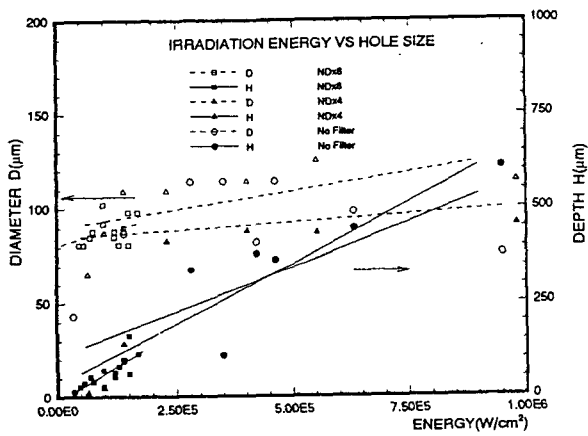


Fig. 3. Effects of pulse energy on the hole-shape

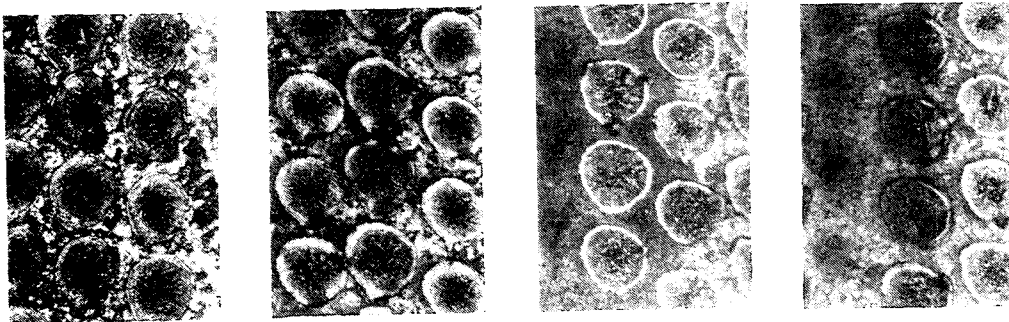


Photo. 2. Effect of assist gas  
 [from left: N<sub>2</sub>, Ar, dry-air (right engraved first, left next),  
 dry-air (left engraved first, right next)]