

스텐실 제작용 레이저 공정기술 개발

신동식*(경북대학교 대학원 기계공학과), 이영문(경북대학교 기계공학부)
이제훈(한국기계연구원 레이저기술 연구그룹), 서정

Development of laser process for stencil manufacturing

Dong Sig Shin, Young Moon Lee, Jae Hoon Lee, Jeong Suh

ABSTRACT

The objective of this study is to develop stencil cutting process and determine optimal conditions which make good-quality stencil by using a Nd:YAG laser. The effects of process parameters such as laser power, type of mask, gas pressure, cutting speed and pulse width on the cut edge quality were investigated. In order to analyze the cut surface characteristics(roughness, kerf width, dross) optical microscopy, SEM photography and roughness test were used. As a results, the optimal conditions of process parameters were determined, and the practical feasibility of the proposed system is also examined by using a commercial gerber file for PCB stencil manufacturing.

Key Words : Nd:YAG laser(Nd:YAG레이저), stencil(스텐실), cut edge(절단면), surface roughness(표면 조도), dross(드로스), kerf width(절단폭), mask(마스크)

1. 서론

스텐실(stencil)은 PCB상의 Pad에 솔더(solder)를 도포할 때 마스크 역할을 하며 칩부품을 장착하는 공정에 필수적으로 사용되는 패턴이 형성된 스텐레스 판재이다⁽¹⁾. 일반적으로 스텐실은 스텐레스 박판에 포토리소그라피 공정을 이용하여 패턴을 형성한 후 부식 공정에 의해 재료를 제거하여 제작되어진다⁽²⁾. 그러나 최근 환경문제가 크게 부각됨에 따라 기존의 화학적 제작 공정은 환경 친화적인 공정으로의 대체가 시급히 요구되고 있다. 레이저를 이용한 스텐실 제작 공정은 정밀 절단에 의하여 패턴이 제작되기 때문에 기존의 제작공정과 비교하여 매우 단순하며 환경 친화적인 공정으로 주목받고 있다⁽³⁾. 또한 Fig. 1에서 보는 바와 같이 레이저 절단 가공에 의한 절단면이 에칭가공에 의한 절단면보다 진직도가 뛰어나고 절단폭(kerf width)도 작음을 알 수 있다. 본 연구에서는 스텐실의 제작을 위한 가공시스템을 구축하였으며 성능의 검증 및 실용화를 위하여 스텐실 제작공정의 주요 변수들이 절단면의 표면 조도에 미치는 영향을 분석하였고 순차적 실험을 통하여 최적 절단조건을 도출하였다.

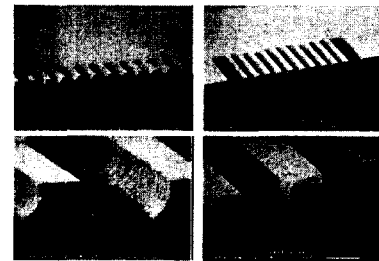


Fig. 1 SEM photographs of stencil produced by (a)etching and (b)laser cutting

2. 실험

2.1 실험방법

실험에 사용한 레이저 스텐실 가공시스템은 TEM₀₀ mode의 Nd:YAG 펄스 레이저($\lambda=1064\text{nm}$)이며 광학계는 초점거리가 40mm인 절단헤드를 사용하였다. 재료는 스텐실 제작용 스텐레스 강판(SS304, 두께 0.15mm)이다. 주요 공정변수는 절단

가스압(gas pressure), 빔출력(power), 펄스폭(pulse width), 절단속도(cutting speed) 및 마스크의 형상(mask type)이며, 기초 실험을 통하여 적정 변수의 영역을 도출하였다.

2.2 측정

절단특성은 절단면의 표면조도(R_a), 절단폭 및 드로스(dross)의 양⁽⁴⁾으로 설정하였다. 또한 표면조도는 광간섭현상⁽⁵⁾을 이용한 광학식 3차원 조도측정기로 측정하였으며, 절단폭은 광학현미경으로 측정하였고 드로스는 정성적인 기준에 의해 5등급으로 나누어 판단하였다. 여기서 1등급이 드로스가 가장 적은 등급을 나타낸다. 또한 절단면의 표면상태는 SEM으로 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 출력에 따른 절단특성

출력에 따른 절단특성을 규명하기 위해 출력을 4W에서 36W 까지 변화시키면서 실험하였다. Fig. 2는 출력에 따른 절단면의 SEM 사진 및 표면조도의 분포를 나타내고 있다. Fig. 2(a)에서 보여 주는 바와 같이 저출력 영역에서는 용융금속 및 산화물의 높은 점도(viscosity)로 인하여 절단하부로의 원활한 분출이 이루어지지 않았으며 용융물의 재응고로 인하여 완전히 절단되지 않은 부분이 발생하여 높은 표면조도를 나타내었다. 반면 Fig. 2(d)에서 보는 바와 같이 고출력 영역에서는 용융면적이 넓어지면서 용융금속이 전부 제거되지 않고 하부에 재응고되는 현상이 발생하였고 빔 가장자리부의 출력 밀도가 증가하여 저출력에서의 열영향부 영역이 용융되어 절단부 상단의 용융체적이 넓어짐으로 인해 표면조도가 다시 상승하였다. 여기서 표면조도는 식(1)과 같이 표현되는 중심선 평균조도를 사용하였다.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |f(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f(x_i)| \quad (1)$$

24W의 조건에서 표면조도(R_a)가 $1.03 \mu\text{m}$ 로서 가장 낮은 값을 나타내었으며 절단면에는 줄무늬의 패턴이 일정하게 형성되었다.

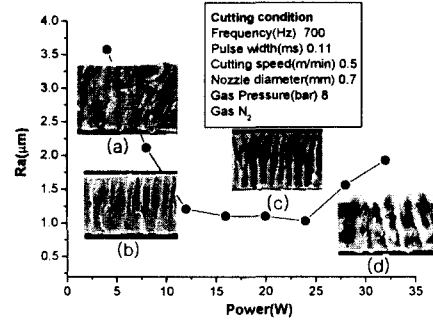


Fig. 2 Cut edge roughness vs. laser power: (a)4W, (b)12W, (c)24W and (d)32W

출력이 증가할 수록 줄무늬 패턴이 커지면서 절단부의 상단에 용융물이 응고되는 현상이 나타났다. 또한 출력이 증가함에 따라 절단폭은 넓어지며 출력 32W에서의 절단폭은 $120 \mu\text{m}$ 로서 출력 4W일 때의 절단폭 보다 약 1.6배 커졌으며 절단면의 조도가 최적인 출력 24W에서는 $98 \mu\text{m}$ 절단폭을 나타내었다.

3.2 마스크의 형상에 따른 절단특성

레이저 빔의 가장자리 부분이 절단면의 형상에 미치는 영향을 분석하기 위하여 가공헤드의 집광렌즈 입사빔 광로에 사각 및 원형 마스크를 사용하여 절단실험을 수행하였다. 이때 집광렌즈에 입사되는 빔의 직경은 22mm 이고 각 마스크에 의해 제거된 부분은 입사 빔의 가장자리로서 전체 단면적의 33%이다. Fig. 3은 마스크의 종류에 따른 절단면의 형상 및 표면 조도를 보여 주고 있다. Fig. 3(a)는 마스크를 사용하지 않은 상태의 가공 형상으로서 마스크를 사용한 Fig. 3(b)나 Fig. 3(c) 보다 줄무늬가 불규칙하게 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 사각 마스크가 절단시편의 직선구간에서 중심선 평균조도(R_a)가 $0.86 \mu\text{m}$ 로서 가장 우수함을 나타내는 반면, 곡선($R=25\text{mm}$) 구간에서는 원형 마스크를 사용한 경우 보다 표면이 거칠게 나타나고 있다. 이는 마스크 형상에 의한 가장자리부의 펄스 중첩도가 저하된 것에 기인한 것으로 예측할 수 있다. 또한 마스크에 의해 절단폭도 $95 \mu\text{m}$ 에서 $75 \mu\text{m}$ 로 줄어들었다. 이는 레이저빔 외곽부를 차단함으로써 에너지의 밀도구배를 향상시켰기 때문인 것으로 판단된다.

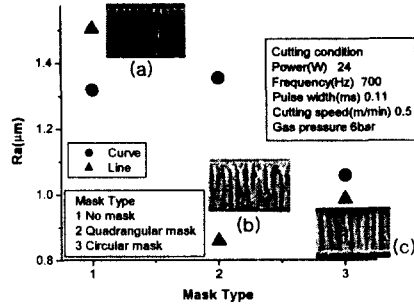


Fig. 3 Cut edge roughness for different mask types: (a) No mask, (b) Quadrangular mask and (c) Circular mask

또한 사각마스크의 경우에는 곡면 절단시 표면 조도가 급격히 저하되기 때문에 다양한 패턴을 절단해야 하는 유연성을 고려하여 호환성이 뛰어난 원형마스크를 선정하여 실험하였다.

3.3 가스압에 따른 절단특성

가스압을 2bar에서 16bar 까지 변화시키면서 가스압이 절단면의 품질에 미치는 영향을 관찰한 결과 Fig. 4와 같이 가스압에 따른 표면조도 및 절단면의 SEM사진을 얻을 수 있었다.

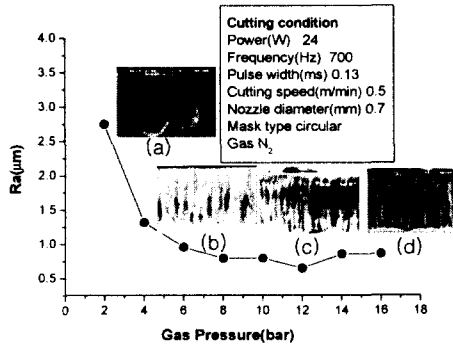


Fig. 4 Cut edge quality vs. gas pressure: (a)2bar, (b)6bar, (c)8bar and (d)16bar

Fig. 4(a)의 경우 절단 가스의 압력이 충분하지 못하여 절단면의 하단부에 드로스가 불규칙하게 형성됨을 알 수 있으며, 가스의 압력이 증가함에 따라 용융물에 닿는 가스의 모멘텀에 의한 견인력의 상승으로 용융모재의 제거가 원활히 이루어 졌음을 알 수 있었다⁽⁴⁾. 또한, 이때 절단면의 줄무늬가 규칙적으로 형성되고 있으나 가스압이 16bar로 증가

한 상태에서는 줄무늬가 다시 불규칙해지고 있음을 알 수 있다. 본 실험에서는 12bar에서 $0.64 \mu\text{m}$ 로서 가장 낮은 표면조도를 나타내었다. 가스압이 상승함에 따라 절단폭이 줄어들었으며 Fig. 5에서 볼수 있듯이 가스압의 증가에 따라 드로스가 현저히 감소하다가 8bar 이상에서는 드로스의 양이 일정하였으며, 14bar 이상에서는 절단면과 절단면 하단에 형성된 난류(turbulence)⁽⁶⁾의 영향으로 드로스의 발생량이 다시 증가한 것으로 판단된다. 이를 고려하여 적정 가스압을 8bar로 설정한 후 실험을 수행하였다.

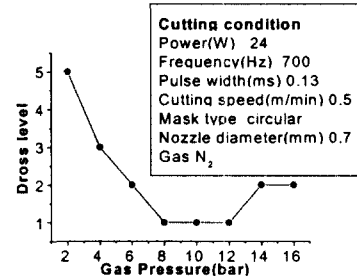


Fig. 5 Dross level vs. gas pressure

3.4 절단속도에 따른 절단특성

절단속도에 따른 절단특성을 관찰하기 위하여 절단속도를 0.5m/min에서 2m/min까지 변경해가며 실험을 하였다. 절단속도가 느린 경우 온도구배가 완만하여 절단부의 용융부가 넓어짐으로 인해 가스의 운동량에 의해 제거되는 범위가 커지며 또한, 절단속도가 과도하게 빠르면 용융급속이 절단부에서 제거된 흔적이 뚜렷이 남게되어 결국 표면조도가 저하되는 결과를 초래하였다.

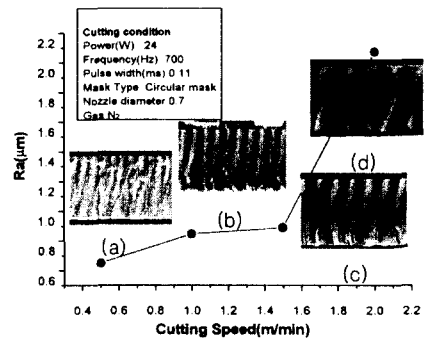


Fig. 6 Cut edge quality with different cutting speed: (a)0.5m/min, (b)1.0m/min, (c)1.5m/min and (d)2.0m/min

즉, 온도구배가 너무 급격하게 형성되어 응고각 그만큼 빠르게 진행됨으로 표면장력으로 인한 보상이 이루어지지 않게 된다⁽⁷⁾. Fig. 6은 절단속도에 따른 절단면과 표면 조도를 나타낸 것으로 이를 반영해 주고 있다. 실험범위내의 조건에서는 저속일수록 표면조도가 우수함을 알 수 있고 0.5m/min에서 표면조도는 0.65 μm이었다. 또한, 절단 속도가 증가함에 따라 중첩율(overlap ratio)이 떨어짐으로 인하여 절단폭이 줄어들었다.

3.5 펄스폭에 따른 절단특성

펄스폭이 표면조도에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 상기 실험에서 결정된 조건으로 펄스폭을 0.09ms에서 0.17ms 까지 변화시키면서 실험을 하였다.

$$P_p = P_{ave} \times \frac{1}{FWHM} \times \frac{1}{Frequency} \quad (2)$$

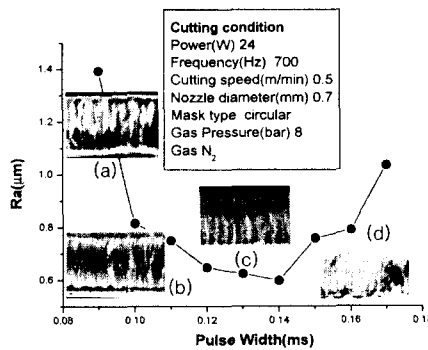


Fig. 7 Cut edge quality with different pulse width: (a)0.09ms, (b)0.1ms, (c)0.14ms and (d)0.15ms

Fig. 7은 펄스폭에 따른 절단면의 형상 및 표면 조도로서 짧은 펄스폭(높은 첨두출력)에서는 큰 온도구배를 가지는 용융부가 순간적으로 분출되면서 깊은 골을 형성하였으며 긴 펄스폭에서는 깊은 골은 형성되지 않았으나 용융물의 분출방향이 일정하지 않고 상대적으로 산만하여 펄스폭의 증가에 따라 포물선 분포를 나타내었으며 펄스폭 0.14ms에서 표면조도가 0.6 μm, 절단폭은 78 μm를 나타내었다. Fig. 8(a)는 도출된 최적의 공정변수를 이용해 샘플을 제작하는 장면이며 Fig. 8(b)는 레이저 절단에 의해 직접 제작한 스텐실 마스크이다.

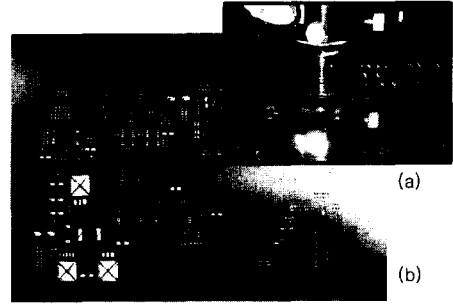


Fig. 8 A view of cutting process and completed stencil for solder mask

4. 결론

기존의 환경저해공정인 스텐실 제작을 레이저(Nd:YAG laser) 절단 공정으로 대체할 수 있는 가공 시스템 개발 및 주요 공정 변수가 절단 품질에 미치는 영향을 분석하였으며, 실용화를 위한 공정 및 시스템의 평가를 실물 가공으로 입증하였다.

(1) 표면조도는 출력, 펄스폭의 증가에 따라 포물선 분포, 가스압의 증가에 따라 반비례 곡선 분포를, 절단속도의 증가에 따라 급격히 증가하는 경향을 나타내었고, 마스크를 사용함으로써 표면 조도를 줄일 수 있었다.

(2) 절단폭은 출력의 증가에 따라 비례적으로 증가하였으며, 가스압, 절단속도에 따라 반비례 곡선 분포를 나타내었다. 마스크의 사용으로 절단폭을 줄일 수 있었고, 펄스폭에는 큰 영향이 없었다.

(3) 가스압이 증가할수록 드로스의 양이 급격히 줄어들었으나 14bar 이상에서는 다시 드로스가 발생하는 현상이 발견되었다.

참고문헌

1. 최영규, "인쇄회로 설계와 배선 기술", 홍릉과학출판사, pp. 200, 2000
2. 신동식, 이제훈, 한유희, 이영문: Nd:YAG 레이저를 이용한 스텐실 절단 공정, 한국레이저가공학회지, Vol. 3, No. 3, pp. 13~19, 2000
3. 이제훈, "PCB 제작에의 레이저 응용기술" Workshop 발표자료, 한국기계연구원, 2001
4. 김도훈, "레이저 가공학", pp. 280~281, 286, 166, 163 경문사, 1990
5. 김동원, "기계공작법", 동명사, pp. 691, 1998
6. John Powell, "CO₂ Laser cutting", Spinger-Verlag, pp. 95, 1993
7. 한유희, "레이저 절단" 한국레이저가공학회지(기술논문), 제2권 1호, 1999