

레이저빔 마킹 조건에 따른 티타늄 표면특성 분석

신 홍 식*

한국교통대학교 에너지시스템공학과

Analysis of Titanium Surface Characteristics according to Laser Beam Marking Conditions

HongShik Shin *

**Department of Energy System Engineering, Korea National University of Transportation,
50 Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk 380-702, Korea*

(Received 2013. 10. 22 / Accepted 2013. 11. 14)

Abstract : Titanium has been used to satisfy various applications such as bio engineering, aerospace, electronics, automobile. Recently, micro fabrication technologies of metals such as titanium have been required to satisfy many conditions in various fields. To satisfy these demands, micro electrochemical process using laser marking can be an alternative method because it is one of the precision machining and efficient process. Micro electrochemical process using laser marking needs to accomplish form of the oxidized recast layer on metal surface by laser marking. The laser beam marking conditions such as average power, pulse repetition rate and marking speed should be properly selected to form oxidized recast layer. So, the characteristics of titanium surface according to laser marking conditions was investigated through SEM(scanning electron microscope), EDS(energy dispersive spectrometer) and surface roughness analysis.

Key words : Titanium surface, Laser marking, Average power, Pulse repetition rate, Marking speed

1. 서 론

티타늄(titanium)은 우수한 기계적 특성과 화학적 특성을 가지고 있어 항공, 전자, 기계, 생물의학, 바이오, 해양 산업 등에서 폭넓게 응용되어 왔다.¹⁻²⁾ 특히, 티타늄의 우수한 화학적 특성은 열교환기나 파이프의 제작 등에 사용되어 왔으며, 최근에는 생물의학 분야와 치의학 분야에서 미세 유로 및 미세 다층 구조물을 제작하여 응용한 연구가 발표되고 있다.²⁾ 이처럼 수요가 다변화 되고 있어, 이를 충족시키기 위한 다양한 미세가공법 및 특수가공법이 활발하게 연구되고 있다.³⁻¹¹⁾ 티타늄과 같은 금속의 표면에 미세 가공 혹은 미세 패터닝 등을 구현할 수 있는 가공법으로는 화학

에칭, 전해에칭, 전해도금 등이 매우 효과적이다. 그러나, 이러한 공정을 통한 미세패턴의 제작은 별도의 마스크의 제작 및 반도체공정 등이 수반된다. 마스크의 제작을 위해서는 복잡한 단계를 거치며 생산공정이 복잡해지고 비용이 상승하는 결과를 초래한다.

이러한 단점을 보완하기 위해 최근에는 별도의 마스크 제작 없이 레이저 마킹(laser marking)을 적용한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 즉, 레이저 마킹을 통해 금속의 표면 위의 산화막을 제거하거나 산화된 재응고층을 생성한 후 전해에칭 혹은 전해도금 공정을 통해 금속의 표면에 미세 패터닝 혹은 다층 미세 구조물을 제작한 연구들이 보고되고 있다.⁷⁻¹¹⁾ Kwon⁷⁾ 등은 알루미늄의 표면에 아노다이징(anodizing) 공정을 통해 알루미늄 표면에 산화막을 형성하고 전해에칭이

*Corresponding author. E-mail: shinhs05@ut.ac.kr

필요한 부분만을 레이저빔을 이용해 산화막을 제거하는 공정에 대해 연구하였다. Shin⁸⁻⁹⁾ 등은 스테인리스강 표면에 레이저빔 마킹을 하여 산화된 재응고층을 형성하고 이를 전해에칭 시 보호층으로 사용한 연구를 진행하였다. Cho¹¹⁾ 등은 금속 표면에 레이저빔 마킹을 하여 마킹된 스테인리스강 표면에 형성된 재응고층을 희생층으로 사용하여 선택적인 전해도금을 성공적으로 수행하였다. 이러한 연구결과들은 별도의 보호 마스크 제작 혹은 반도체공정 없이도 금속의 표면에 레이저빔 마킹을 함으로써 대체할 것이라 할 수 있다. 따라서 다양한 산업 분야에서 응용성이 높은 티타늄의 표면에서의 레이저 마킹 조건에 따른 특성을 조사하면 향후 전해에칭 혹은 전해도금에 응용할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 논문에서는 전해에칭을 통한 미세 패터닝 및 미세 구조물의 가공 혹은 선택적 전해도금과 같은 공정에 응용될 수 있도록 레이저빔 마킹 조건에 따른 티타늄 표면 특성에 관해 연구하였다.

2. 실험장치

레이저빔 마킹을 위한 시스템은 Fig. 1에서 보이는 바와 같이, 공작물 이송과 레이저빔 포커싱을 위한 3축 정밀이송장치와 레이저빔 마킹을 위한 이터븀 펄스빔 화이버 레이저(ytterbium pulsed fiber laser) 장치, 갈바노미터 스캐닝 시스템(galvanometer scanning system)으로 구성되어 있다. 레이저빔 마킹을 위한 공작물로는 15 mm X 15 mm X 5 mm 크기의 티타늄(titanium) 시편이 사용되었다. 레이저빔을 티타늄 표면에 조사(irradiation)한 후 표면의 특성을 파악하기 위해 SEM, EDS 분석을 수행하였다. 또한 레이저빔 마

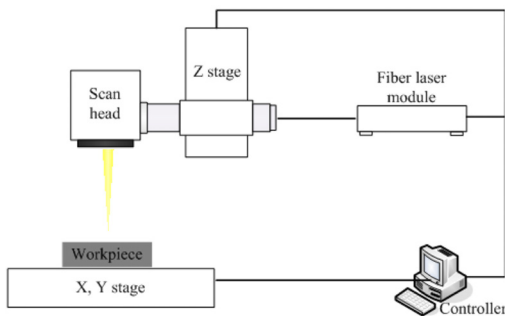


Fig. 1 Experimental set-up for laser beam marking

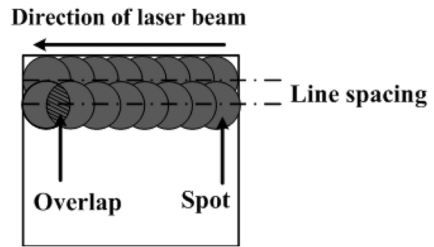


Fig. 2 Schematic diagram of laser beam marking

킹 조건에 따른 표면거칠기는 표면조도기(Taylor Hobson corp.)를 이용하여 측정하였다.

3. 레이저빔 마킹

레이저빔 마킹 공정은 집속된 레이저빔을 티타늄의 표면 위에 조사하여 초점 위치를 결정한다. 초점 위치가 결정된 후 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 레이저빔을 중첩시키며 일정한 속도로 레이저빔의 경로를 따라 마킹을 진행한다. 하나의 선(line)을 마킹한 후 일정 선 간격(line spacing)을 두어 이전에 마킹한 선과 중첩되도록 하여 마킹을 진행한다. 이러한 공정을 반복하면 티타늄 표면에 원하는 패턴(pattern)을 마킹을 할 수 있다. Fig. 3은 2 mm x 2 mm의 크기를 갖는 정사각형의 영역에 레이저빔 마킹 조건을 변화시켜 가며 마킹한 결과이다. 마킹조건은 펄스반복율(pulse repetition rate) 80 kHz, 선 간격(line spacing) 10 μm로 고정하고 평균출력(average power)을 2 W ~ 6 W과 레이저빔의 마킹 속도(marking speed)는 1.96 mm/s ~ 98 mm/s로 변화시켜 가며 진행하였다. Fig. 3에서 보이는 바와 같이 마킹된 영역은 은백색, 남색, 자주색, 오렌지색, 노란색 등의 다양한 색상을 띠는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 레이저빔 마킹에 의해 생성된 티타늄의 표면이 가공되어 생성된 요철과 산화막(oxide layer) 때문에 생기는 현상이다.⁸⁾ 오렌지색 혹은 노란

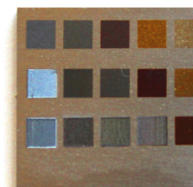


Fig. 3 Laser beam color marking of titanium surface according to laser beam marking conditions

색 계열의 색을 띠는 경우는 마킹 속도가 빠르거나 평균출력이 작을 때 생성되므로 레이저빔에 의한 가공 깊이는 작지만 재응고층(recast layer)가 얇은 두께로 생성되는 경향을 보인다. 반면, 은백색을 띠는 경우에는 평균출력이 크거나 마킹속도가 느릴 때로 재응고층은 두껍게 생성되지만 레이저빔에 의한 가공 깊이가 깊은 경우가 많다. 남색, 자주색 계열의 마킹 표면은 레이저빔 마킹에 의한 가공 깊이는 깊지 않고 재응고층도 얇지 않게 형성되므로, 전해에칭 시 보호층 혹은 전해도금 시 희생층으로 응용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 티타늄 표면 특성 분석

4.1 레이저빔 마킹의 효과

Fig. 4는 레이저빔 마킹 전과 후의 표면의 SEM 사진이다. 레이저빔 마킹 이후 티타늄의 표면에 레이저빔에 의해 발생한 선(line)의 흔적이 있음을 확인할 수 있다. 이러한 선은 레이저빔이 이동한 경로에 의해 발생되며 표면의 요철을 발생시킨다. Fig. 5는 Fig. 4 (b)의 레이저빔이 마킹된 표면에 EDS 분석을 한 결과이다. EDS 분석을 통해 마킹된 표면의 원소 구성은 티타늄과 산소임을 확인할 수 있었다. 이는 레이저빔 마킹이 된 티타늄 표면은 산화된 상태로 존재한다는 것을 간접적으로 보여주는 결과이다. 산화된 상태의 티타늄 표면은 전해에칭 혹은 전해도금 공정에서 응용될 수 있다.

4.2 레이저빔 마킹 조건에 따른 영향

금속의 표면은 레이저빔의 마킹 조건에 따라서 다른 경향을 보인다. 레이저빔 마킹 조건에 따른 영향을 조사하기 위해 마킹 시 선 간격(line spacing)은 10 μm

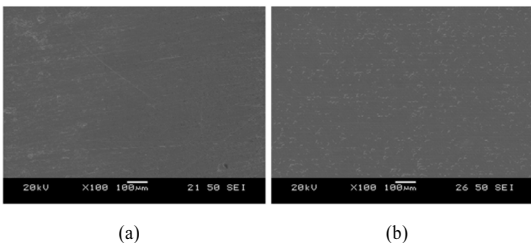


Fig. 4 Titanium surface before and after laser beam marking (a) before laser beam marking (b) after laser beam marking

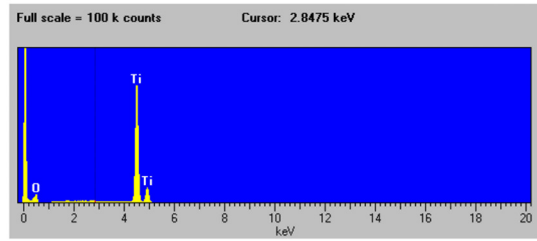


Fig. 5 EDS analysis after laser beam marking

으로 고정하고 레이저빔 마킹을 수행하였다. 레이저빔이 금속에 조사되는 경우 특히 레이저빔의 출력밀도(power density)와 금속 표면이 레이저빔과 상호작용 하는 시간(interaction time)에 따라 그 특성이 결정된다. 출력밀도와 관련이 있는 마킹 조건들로는 평균출력, 펄스반복율, 마킹속도 등이 있다. 따라서 이들 조건을 변화시켜 가며 티타늄 표면의 특성을 조사하였다.

4.2.1 평균출력의 영향

일반적으로 평균출력이 증가하면 금속의 표면은 가열, 용융, 증발 등의 현상이 발생하게 된다. 이 때, 레이저빔을 조사하여 금속의 표면이 증발되는 현상을 이용하는 것이 레이저빔 가공이다. 그러나 본 연구에서는 레이저빔에 의한 가공이 아닌 전해공정(electrochemical process)에서 보호층 혹은 희생층으로써의 응용 가능성을 위한 산화된 재응고층(recast layer)를 티타늄의 표면에 형성시키는 것이 주목적이다. 그러므로, 비교적 낮은 평균출력에 해당하는 범위에서 레이저빔 마킹을 Fig. 6과 같이 수행하였다. 이 때, 펄스반복율 80 kHz, 선간격 10 μm 로 고정하고 평균출력만을 2 W ~ 8 W로 변화시키며 티타늄의 표면 특성을 관찰하였다. Fig. 6에서 보이는 바와 같이 레이저빔의 평균출력이 증가할수록 티타늄 표면의 레이저빔이 조사된 흔적이 더 선명하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한, 표면조도를 조사한 결과 2 W에서 R_a 0.27 μm , 8 W R_a 1.092 μm 로 평균출력이 증가함에 따라서 티타늄의 표면조도가 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 전해공정에 응용하기 위해 과한 마킹 조건은 피하고 적절한 두께의 재응고층이 형성되도록 평균출력 조건을 선정해야 한다.

4.2.2 펄스반복율의 영향

주파수의 영향을 알아보기 위해 평균출력 4 W, 선간격 10 μm , 마킹 속도 19.6 mm/s로 고정하고 실험을

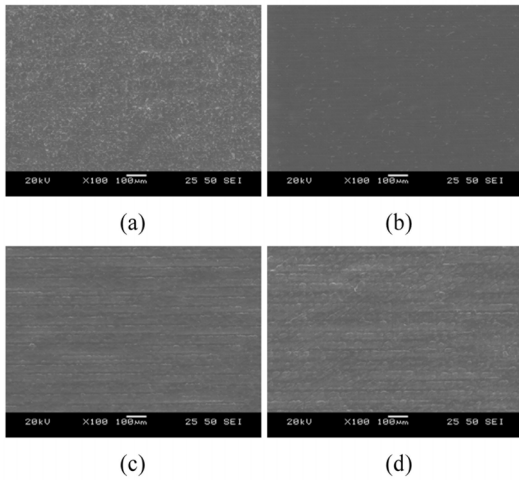


Fig. 6 SEM image of titanium surface according to average power; (a) 2 W (b) 4 W (c) 6 W (d) 8 W

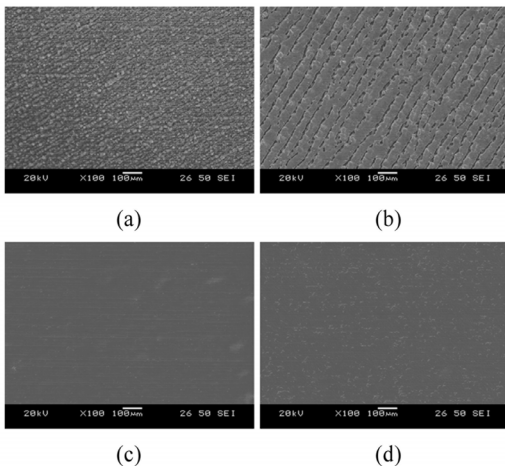


Fig. 7 SEM image of titanium surface according to pulse repetition rate; (a) 20 kHz (b) 40 kHz (c) 60 kHz (d) 80 kHz

수행하였다. Fig. 7에서 보이는 바와 같이 레이저빔의 펄스반복율이 감소할수록 티타늄 표면의 레이저빔 조사된 흔적이 더 선명하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한, 표면조도를 조사한 결과 20 kHz에서 R_a 1.79 μm , 80 kHz에서 R_a 0.22 μm 로 펄스반복율이 감소함에 따라서 티타늄의 표면조도가 거칠어짐을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 펄스반복율이 감소함에 따라서 첨두 출력밀도(peak power density)가 증가하기 때문이다. 전해공정 시 보호층이나 희생층으로 사용하기 위해 레이저빔 마킹에 의한 재료제거율은 최소화 하고

적절한 두께의 재응고층이 형성되도록 펄스반복율을 선정할 필요가 있다.

4.2.3 마킹속도의 영향

레이저빔 조사 시 금속 표면의 가열특성은 출력밀도 외에도 금속의 표면과 레이저빔이 실제로 상호작용하는 시간(interaction time)에 밀접한 관계를 갖는다. 이러한 상호작용 시간을 결정하는 중요한 인자가 레이저빔 마킹 속도이다. Fig. 8은 레이저빔 마킹속도에 따른 티타늄의 표면을 보여주는 SEM 사진이다. 이 때, 평균출력 4 W, 펄스반복율 80 kHz, 선 간격 10 μm 로 고정하고 마킹 속도만을 1.96 mm/s ~ 98 mm/s까지 변화시키며 티타늄의 표면 특성을 관찰하였다. 레이저빔 마킹 속도가 느릴수록 레이저빔이 티타늄의 표면에 노출되는 상호작용 시간이 증가하여 표면에 흡수되는 에너지가 증가하게 된다. 이로 인해, 금속의 표면에서 증발에 의한 재료제거율이 높아진다. 그러므로, 전해공정 시 보호층이나 희생층으로 사용하기 위해서는 첨두 출력밀도에 따라 적절한 마킹속도를 선정하여 원하는 두께의 재응고층을 형성시켜야 한다.

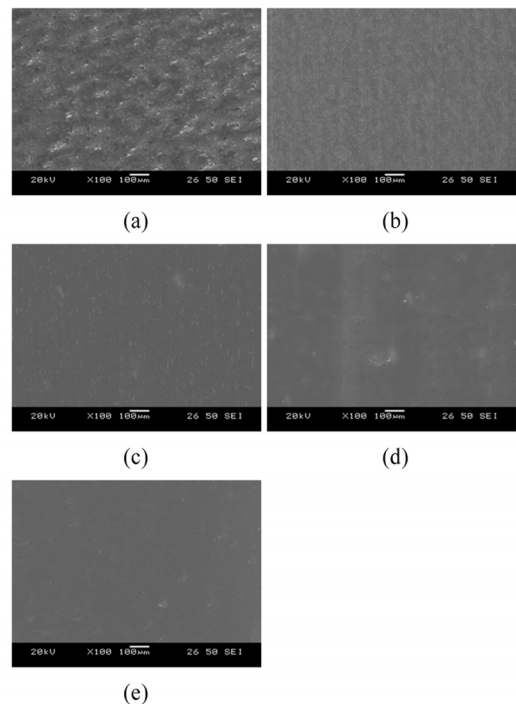


Fig. 8 SEM image of titanium surface according to marking speed; (a) 1.96 mm/s (b) 9.8 mm/s (c) 19.6 mm/s (d) 39.2 mm/s (e) 98 mm/s

5. 결론

다양한 레이저빔 마킹 조건에서 티타늄 표면에 레이저빔을 증착시켜 조사한 후 티타늄 표면의 특성을 분석하였다. 레이저빔 마킹조건에 따라서 티타늄의 표면은 회백색에서 노란색에 이르기까지 다양한 색이 구현되었다. 티타늄 표면에 레이저빔 마킹을 통해 색을 구현하는 것은 그 자체로도 다양한 분야에 응용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 레이저빔 마킹에 의한 티타늄의 표면이 회백색인 경우는 레이저빔 마킹에 의한 재료제거율이 높았다. 그러나 전해공정에서 보호층 혹은 희생층으로 응용되기 위해서는 레이저빔 마킹에 의해 지나친 가공이 이루어져서는 안 된다.

전해공정에서의 레이저빔 마킹의 주요 목적은 티타늄의 표면에 산화된 재응고층을 형성시켜 이를 보호층 혹은 희생층으로 사용함으로써 미세 패터닝에 응용하는 것이다. 티타늄의 표면에 산화된 재응고층을 형성하면서 가공깊이를 과도하지 않도록 레이저빔 마킹 조건을 선정하여야 한다. 이에 영향을 미치는 주요 인자로는 평균출력, 펄스반복율, 마킹속도 등이 있다.

일반적으로 레이저빔 평균출력의 증가, 펄스반복율의 감소하고 마킹속도가 느려짐에 따라서 레이저빔 마킹에 의한 재료 제거율이 증가하고 표면은 회백색을 띠며 표면조도는 증가하는 현상을 확인할 수 있었다. 그러므로 전해공정에서 응용이 가능한 두께를 갖는 산화된 재응고층을 형성하기 위해서는 평균출력, 펄스반복율을 이용해 펄스 침투출력밀도를 계산하고 이에 상응하는 마킹속도를 선정해야 한다.

Acknowledgement

“이 논문은 2013년도 한국교통대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임”(The research was supported by a grant from the Academic Research Program of Korea National University of Transportation in 2013)

References

- 1) P. F. Chauvy, C. Madore and D. Landolt, “Electrochemical micromachining of titanium through a patterned oxide film”, *Electrochem. Solid State Lett.* 2 (3), p.123-125, 1999.
- 2) P. F. Chauvy, P. Hoffmann and D. Landolt, “Application of laser lithography on oxide film to titanium micromachining”, *Appl. Surf. Sci.*, 208, p.165-170, 2003.
- 3) S.H. Ahn, S.H. Ryu, D.K. Choi and C. N. Chu, “Localized electro-chemical micro drilling using ultra short pulses”, *J. of the KSPE.*, 20 (8), p.214-220, 2003.
- 4) K. Takahata and Y. B. Gianchandani, “Batch mode micro-electro-discharge machining”, *J. Microelectromech S.*, 11 (2), p.102-110, 2002.
- 5) S.H. Choi, S. H. Ryu, D. K. Choi and C. N. Chu, “WC micro-shaft fabrication using electrochemical machining”, *J. of the KSPE.*, 21 (6), p.172-178, 2004.
- 6) B.H. Kim, S.H. Ryu, D.K. Choi and C. N. Chu, “Micro electrochemical milling”, *J. Micromech. Microeng.*, 15 (1), p.124-129, 2005.
- 7) M.H. Kwon, H.S. Shin, J.W. Park, C.H. Cho and C. N. Chu, “Fabrication of micro groove on aluminum using anodizing, laser beam and electrochemical etching”, *Proceedings of KSPE 2011 Spring Conference.*, 2011.
- 8) H.S. Shin, D. K. Chung, M.S. Park, B. H. Kim and C.N. Chu, “Electrochemical etching of stainless steel through laser masking”, *J. Micromech. Microeng.*, 20 (5), 055030, 2010.
- 9) H.S. Shin, M.S. Park and C.N. Chu, “Electrochemical etching using laser masking for multilayered structures on stainless steel”, *Annals of the CIRP.*, 59 (1), p.585-588, 2010.
- 10) C.H. Cho, H.S. Shin and C. N. Chu, “Electrochemical etching of cylindrical surface using laser masking”, *Proceedings of KSPE Spring Conference*, 2012.
- 11) C.H. Cho, H.S. Shin and C. N. Chu, “Selective electrodeposition of copper on stainless steel using laser irradiation”, *Surf. Coat. Technol.*, 222 (5), p.15-24, 2013.