

레이저 클리닝의 산업적 응용

Industrial Applications of Laser Cleaning

고등기술연구원 생산기술연구실 이종명

I. 서론

최근 레이저를 이용한 표면 클리닝 기술이 각광을 받고 많은 연구가 세계적으로 진행 중에 있다. 이는 레이저 클리닝이 기존의 화학적(chemical), 기계적(mechanical) 클리닝 방법들과 비교해 아래와 같은 고유 특성들을 가지고 있기 때문이다 [1-3].

1. 건식 클리닝(dry cleaning) 공정이기 때문에 환경 친화적이다.
2. 레이저의 단색성(monochromaticity)을 이용한 오염물질만의 선택적 제거가 가능하다.
3. 비접촉식 공정이므로 접촉 마모(contact wear)가 발생하지 않는다.
4. 짧은 레이저 펄스(보통 nsec order)를 사용하므로 정밀한 제거가 가능하다.
5. 광에너지 사용에 따른 공정 자동화가 쉽다.

위와 같은 많은 장점들로 인해 현재 여러 분야에서 레이저 기술을 이용한 표면에서의 오염물질 제거를 시도하고 있으며, 이는 크게 아래와 같이 3분야로 나눌 수 있다.

1. 의학적 응용: 크게 두 가지 의료 분야, 즉 피부학, 치의예학으로 나뉜다. 피부학에서 레이저 클리닝의 응용사례들은 문신, 반점, 여드름 제거 및 주름살 제거 등에 응용이 이루어지고 있으며, 치의예학에서는 치석 등의 이물질 제거 및 충치 치료에 응용 가능성이 최근에 발표되었다. 현재 의료 목적으로의 레이저 응용은 상당한 투자와 연구가 세계각국에서 활발히 진행되고 있다.
2. 문화재 복원에의 응용: 1973년 John Asmus에 의해 레이저를 이용한 marble sculpture 표면 클리닝에 의한 복원 가능성이 제시된 후 [4], 현재 유럽의 나라들(특히 영국, 이태리, 그리스)을 중심으로 문화재 복원을 위한 레이저의 응용 연구가 폭 넓게 진행되고 있다. 최근 레이저를 이용해 marble, limestone, sandstone등으로 만들어진 sculpture 또는 monument 등의 클리닝, 스테인드 글래스(stained glass)의 encrustation 제거, 여러 금속(황동, 청동, 철, 금, 은) 문화재 표면의 부식물(corrosion) 및 이물질 제거, 그리고 가죽, 종이 등의 유기재료 표면에 있는 곰팡이(fungi), 세균 등의 제거, pigment 제거에 의한 고화(old painting)의 복원 등의 성공 사례들이 발표되고 있다.
3. 산업적 응용: 레이저 클리닝 기술을 이용한 산업적 응용은 크게 세 분야로 나눌 수 있다. 하나는 미소전자 및 반도체 산업에서의 응용으로 PCB기판에서 양호한 solder를 얻기 위한 표면 산화물 제거, 자기헤드(magnetic head)에 붙어 있는 이물질 제거, 반도체 제조 공정 시 wafer 표면에 붙어 있는 미세 입자(micro-particle)들의 제거가 그 예이다. 두 번째 응용분야로는 원자력 산업에서 레이저를 이용한 방사능 오염물질의 제거를 들 수 있다. 핵 분열시 발생하는 방사선으로 오염된 콘크리트(concrete)의 표면의 정화(decontamination) 공정 등에 현재 고출력 레이저를 이용하는 연구가 진행 중에 있다. 세 번째 응용분야로는 중공업(heavy industry)에서 표면 클리닝을 목적으로 한 레이저의 응용이다. 항공기 표면의 paint 및 터빈 블레이드 위의 고온 산화물 제거, 여러 가지 mould의 클리닝 등이 이에 속한다.

본 논문에서 레이저를 이용한 산업 분야에서 다양한 응용사례들을 살펴보기로 하겠다.

II. 레이저 클리닝의 산업적 응용사례

1. 항공기 paint stripping [5]

항공기에서 paint stripping은 주행시 crack 발생 및 전파에 의해 발생할 수 있는 catastrophic disaster의 방지를 위해 주기적으로 수행해 준다. 이때 CO₂ laser를 이용한 전투기 몸체의 성공적인 paint 제거가 보고되었다.

2. 항공기 turbine blade 클리닝

Ni-based super alloy로 만들어진 터빈 블레이드는 고온에서 사용시 표면에 산화막이 발생하며, 이는 화학적 습식(chemical wet) 방법으로 클리닝을 수행한다. 이를 레이저를 이용해 아무런 유해물질의 발생 없이 성공적으로 산화막을 제거할 수 있다.

3. 자동차 tire mould 클리닝 [6]

기존의 자동차 tire mould는 미세한 유리구슬을 고압의 가스와 함께 분사시켜 mould 사이에 끼어 있는 residue를 기계적으로 제거하는 데, 이 방법은 공정 환경이 열악하며 고가이며 또한 mould의 침식이 일어나 결과적으로 mould의 수명을 단축시킨다. 이를 레이저로 대체시 성공적인 클리닝과 함께 앞에서 제시된 많은 단점들을 극복할 수 있다.

4. 콘크리트 클리닝

핵분열에 의한 원자력의 발전시 발생하는 방사능에 의해 콘크리트 벽이 오염되며, 약 90%의 오염이 표면으로부터 2 cm 이내에 존재하게 된다. 이런 오염층의 제거를 위해 최근 고출력 레이저를 이용한 방법이 연구되고 있으며 성공적인 결과도 제시되었다. 또한 광섬유(optical fiber)를 이용한 레이저와 robot의 interface 기술을 통해 로봇이 클리닝하고자 하는 방사능 오염지역에 쉽게 접근해 효과적인 클리닝을 수행할 수도 있다.

5. PCB 클리닝 [7-9]

Copper PCB(printed circuit board)의 표면에 생성된 산화막(oxide layer)은 기판 조립시 표면의 wettability를 감소시켜 solder의 질적 저하를 가지고 온다. 이를 방지하기 위해 soldering 전 표면 산화막의 제거가 필요하며 이를 레이저로 수행할 수 있다. 레이저에 의한 기판 산화막 제거는 화학용제를 이용한 기존의 방법에 의해 야기되는 환경 문제, 추가적인 후처리 공정 등의 문제를 해결할 수 있으며 최근 레이저를 이용한 soldering 공정과 연계한 전체 공정의 자동화를 쉽게 할수 있다는 장점이 있다.

6. FPD glass 클리닝

최근 FPD(flat panel display)로 TFT-LCD(thin film transistor -liquid crystal display), PDP(plasma display panel)등이 각광을 받고 있다. 반도체 공정과 달리 고수율(high yield)을 요구하는 특성으로 인해 표면의 원치 않는 입자들을 제거하는 세정공정에 있어 tight한 관리가 필요하다. 특히 display의 모재로 쓰이는 glass 표면의 클리닝은 매우 중요한 공정이며 이때 레이저를 이용한 건식 공정(dry cleaning) 방법도 고려될 수 있다.

7. 반도체 wafer 클리닝 [9-11]

점차 반도체의 고밀도, 고집적화가 요구됨에 따라 wafer 표면의 청정도가 중요한 문제로 대두되고 있다. 이는 초미세 입자들(submicron size)이 표면에 존재시 circuit failure 및 상당한 수율 감소를 유발하기 때문이다. 또한 기존의 반도체 세정공정으로 습식 방법(wet cleaning)이 사용되는데, 이때 사용되는 화학용제, 유독 가스등의 배출로 인해 열악하고 거대한 작업조건을 가진다. 많은 환경적, 작업적 문제들로 인해 최근 건식 클리닝(dry cleaning) 방법들이 제시되고 연구되고 있으며, 이중 레이저를 이용한 표면 세정 방법이 레이저가 가지고 있는 깨끗한 공

정상의 특징으로 인해 활발한 연구가 진행되고 있다.

지금까지 레이저 클리닝 기술을 이용한 다양한 산업적 응용 사례들을 살펴보았다. 실제적인 레이저 클리닝 기술의 성공적인 산업적 적용을 위해서는 공정을 모니터하고 제어하는 기술 또한 중요한 핵심과제중에 하나이다 [12-20].

III. 결론

지금까지 레이저 클리닝 기술의 고유특성 및 산업적 응용 사례들을 살펴보았다. 기존의 클리닝 방법과 비교해 많은 장점들이 있음에도 불구하고 현재 실제 산업적 응용에 있어 가장 큰 문제는 아직도 상대적으로 고가 장비라는 점이다. 그러나 향후 환경이 보다 중요한 이슈로 부각되고 지속적인 레이저 가격의 하락은 머지않아 상당한 산업적 응용이 이루어지리라 예상되어 진다.

IV. 참고문헌

1. J. M. Lee: In-process and Intelligent Monitoring Systems for Laser Cleaning Process, Ph.D. thesis, Chap. 1, The University of Liverpool, Liverpool, UK (1999)
2. Jong-Myoung Lee and Ken Watkins: Laser cleaning for electronic device fabrication, The Industrial Laser User 18, pp. 29-30 (2000)
3. Jong-Myoung Lee and Ken Watkins: Laser cleaning: Introduction and Applications, Journal of Korea Society of Laser Processing 3 (1), pp. 2-11 (2000)
4. J. F. Asmus, G. Guattari et al: Holography in the conservation of statuary, Studies in Conservation 18, pp. 49-63 (1973)
5. G. Schweizer: CO₂ lasers reduce waste from aircraft paint removal, Opto and Laser Europe 18, pp. 42-43 (Mar. 1995)
6. Anonymous: Accent on application: Photonic cleaning process moves to heavy industry, Photonic Spectra, pp. 22 (Mar. 1997)
7. J. M. Lee, K. G. Watkins, W. M. Steen: Characterisation of laser cleaning of copper for soldering processes, Journal of Manufacturing Science and Engineering (Accepted February 2000 and to be published in Feb. 2001)
8. J. M. Lee, K. G. Watkins, A. Kearns, W. M. Steen, J. D. Ryan, P. C. Russell: Investigation of acoustic monitoring in the laser cleaning of copper, Proceedings of ICALEO97 (16th International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics), Section C, pp. 226-233, San Diego, California, USA (1997)
9. J. M. Lee and K. G. Watkins: Laser removal of oxides and particles from copper surfaces for microelectronic fabrication, Optics Express (Special focus issue) 7 (2), pp. 69-76, <http://www.opticsexpress.org/oearchieve/source/22798.htm>
10. J. M. Lee, K. G. Watkins, W. M. Steen: Angular laser cleaning for effective removal of particles from a solid surface, Applied Physics A: Materials Science and Processing (Accepted May 2000 and to be published in 2000)
11. J. M. Lee, C. Curran, K. G. Watkins: Laser removal of copper particles from silicon

- wafers using UV, visible and IR radiation, *Applied Physics A: Materials Science and Processing* (Accepted Jul. 2000 and to be published in 2000)
12. J. M. Lee, K. G. Watkins: Real-time surface monitoring in the laser cleaning of copper for soldering processes, *Lasers in Engineering* 8 (3), pp. 229-239 (1999)
 13. J. M. Lee, K. G. Watkins, W. M. Steen, P. C. Russell, G. R. Jones: Chromatic modulation based acoustic analysis technique for in-process monitoring of laser materials processing, *Journal of Laser Applications* 11 (5), pp. 199-205 (1999)
 14. J. M. Lee, K. G. Watkins, W. M. Steen: Fuzzy rule based prediction system of surface damage in the laser cleaning process, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 16 (9), pp. 649-655 (2000)
 15. J. M. Lee, K. G. Watkins and W. M. Steen: Neural network based laser fluence monitoring in the pulsed laser processing, *Lasers in Engineering* 10, pp. 229-241 (2000)
 16. J. M. Lee and W. M. Steen: In-process surface monitoring for laser cleaning processes using a chromatic modulation technique, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (Accepted January 2000 and to be published in 2000)
 17. J. M. Lee and K. G. Watkins: In-process monitoring techniques for laser cleaning, *Optics and Lasers in Engineering: Special Issue* (Accepted Aug. 2000 and to be published in 2000)
 18. J. M. Lee, K. G. Watkins: Prediction system of surface damage in the laser conservation of artworks, *Journal of Cultural Heritage* (To be published in 2000)
 19. J. M. Lee, K. G. Watkins: Chromatic modulation technique for in-line surface monitoring and diagnostic in the laser conservation of artworks, *Journal of Cultural Heritage* (To be published in 2000)
 20. J. M. Lee, K. G. Watkins, W. M. Steen: In-process chromatic monitoring in the laser cleaning of marble, *Journal of Laser Applications* (Accepted Sep. 2000 and to be published in 2001)