

## 피코초 레이저를 이용한 니켈의 미세가공 특성

신동식\*, 이제훈, 서정, 노지환, 정용운, 김재구 (한국기계연구원)

### Micro-machining of nickel by picosecond laser ablation

D. S. Shin, J. H. Lee, J. Suh, J. W. Noh and Y. W. Chung,  
(IT Machinery Research Center, KIMM),  
J. G. Kim (Nanomechanical Systems Research Center, KIMM)

#### ABSTRACT

In case of ultrashort laser ablation of metals, the transfer of energy from the electronic system causing strong absorption of laser light to the lattice needs relaxation times of the order of some picoseconds. Under the above theoretical background, nickel was ablated using femtosecond, picosecond and nanosecond laser. As a result, nickel ablation by picosecond laser and femtosecond laser, which are called ultrashort laser, has similar machinability because of relaxation time of metals, whereas nanosecond Nd:YAG laser has lower absorption, higher thermalization effect in comparison with ultrashort laser.

**Key Words** : picosecond laser(피코초 레이저), femtosecond laser(펨토초 레이저), ablation(어블레이션), debris(잔유물), 니켈(nickel)

#### 1. 서론

1990년대 초에 Kerr 렌즈 모드잠금방식이<sup>1)</sup> 개발되면서 Ti:Sapphire를 매질로 사용하는 고체 펨토초 레이저 기술이 등장하였고 이후 SESAM (Semiconductor Saturable Absorber Mirror)<sup>2)</sup>, 및 CPA (Chirped-Pulse Amplification) 기술의<sup>3)</sup> 개발로 출력 및 안정성이 크게 향상되었다. 그러나 Ti:Sapphire 펨토초 레이저는 구성 광학계의 특성상 평균출력이 기존의 레이저에 비해 낮은 단점을 보유하고 있다. 이러한 펨토초 레이저의 단점을 보완하기 위하여 Nd:YVO4를 매질로 사용하는 피코초 레이저가 최근 개발되어 상용화 되었는데 펨토초 레이저에 비하여 고출력 특성을 나타낼 뿐만 아니라 내부 구성 광학계가 상대적으로 간단한 장점이 있다.

한편, 레이저를 이용하여 금속재료를 가공하는 경우 광에너지가 금속 내부로 전달될 때 전자유전자, 원자, 및 결정격자 순으로 전이 일어나는데 약 10ps 가량의 시간이 소요되는 것으로 알려져 있다<sup>4)</sup>. 이와 같은 소요시간(delay time)으로 인하여 펨토초 레이저와 피코초 레이저는 금속재료의 가공에서 큰 차이점을 보이지 않을 것으로 예상하고 있다.

본 논문은 이에 대한 검증용 위하여 펨토초, 피코초 및 나노초 레이저와의 가공성 비교 그리고 피코초 레이저의 각 파장별 가공특징에 대하여 언급하고 있다.

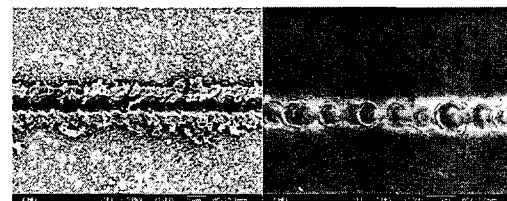
#### 2. 실험방법

본 실험에서 사용한 레이저는 피코초레이저

(Lumera: 12ps), 펨토초레이저(Coherent: 100fs), 및 나노초 레이저(Lee: 235ns)이며 가공재료는 경도가 뛰어나 미세 금형으로 많이 사용되고 있는 니켈을 이용하였다. 사용한 광학렌즈는 객관적인 비교를 위해 동일한 N.A. 값(0.4)을 가지는 렌즈를 사용하였으며 레이저 빔의 출력은 렌즈를 통과한 후의 측정값이다.

#### 3. 본론

본 실험에서는 나노초, 피코초 그리고 펨토초 레이저를 이용한 니켈의 가공특성을 분석하기 위해 표면에 파장, 출력, 가공속도에 따라 선 가공을 하였으며 이를 비교 분석하였다.



(a) (b)

Fig. 1 SEM images of ablated line using (a) picosecond laser(12ps) and (b) nanosecond laser (235ns); wavelength: 1064nm average power: 100mW, repetition rate: 20kHz

Fig. 1은 피코초 레이저와 나노초 레이저(Q-switched Nd:YAG Laser)를 이용한 니켈의 선 가공 후 형상으로서 동일한 파장, 평균출력, 펄스반복률

및 가공속도에서 실험하였다. 상기 조건 외에 펄스 폭은 각각 12ps 그리고 235ns로서 차이를 두었는데 피코초 레이저의 경우 나노초 레이저에 비하여 깊게 가공되었으며 주변에 금속의 분해된 입자인 잔유물(debris)이 산포되어 있다. 반면 나노초 레이저 가공의 경우 표면에서의 별도의 어블레이션 현상이 발견되지 않은 채 용융의 흔적이 발견되었다.

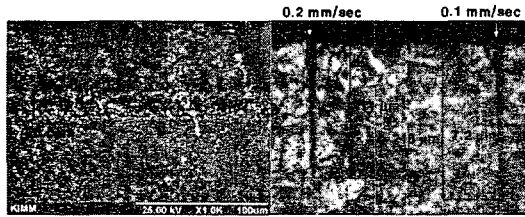


Fig. 2 (a) SEM image (0.2mm/sec) of surface and (b) cross-sectional view (0.1mm/sec, 0.2mm/sec) of line pattern by picosecond laser ablation; wavelength: 532nm, average power: 500mW, repetition rate: 100kHz

Fig. 2는 피코초 레이저의 532nm 파장을 이용하여 재료를 가공한 상부표면과 단면사진을 보여주고 있다. Fig. 2(a)에서 상부 표면에 잔유물이 다량 산포되어 있는데 이의 성분은 EDS 분석 결과 산화 니켈로 판명되었다. 이와 같은 성분은 펄초 레이저에서도 동일하였으며 이는 레이저와의 급격한 반응을 통하여 공기중에서의 산소와 반응한 것으로 판단된다. 또한 Fig. 2(b)를 보면 알 수 있듯이 피코초 레이저를 이용하면 고 세장비를 가지는 가공도 가능하다는 것을 보여주고 있다.

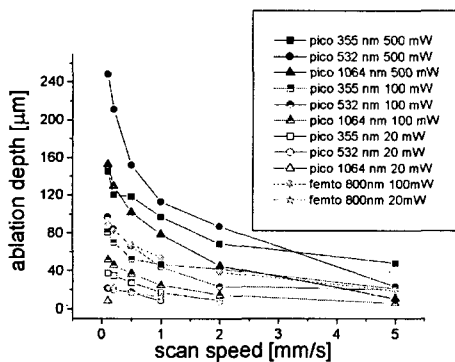


Fig. 3 The graphs of cross-sectional depth by picosecond laser and femtosecond laser ablation

Fig. 3은 피코초 및 펄초 레이저에 의해 가공된 니켈의 가공깊이를 나타내는 그래프로서 전체적으로 가공속도가 빨라지면서 깊이는 반비례곡선 분포를 나타내고 있으며 500mW 및 100mW의 평균출력을

재료에 조사한 경우 1mm/sec 이하의 가공속도의 경우 532nm의 레이저 빔을 사용하였을때 가장 깊게 가공되었으며 1mm/sec 이상의 속도에서는 355nm의 파장을 이용하여 가공한 경우가 상대적으로 깊게 가공되었다. 니켈의 흡수율은 파장이 짧아지면서 높아지는(355nm: 0.6, 532nm: 0.4, 1064nm: 0.3) 경향이 있어 짧은 파장의 경우 깊게 가공될 것으로 예상되었지만 100μm 이상의 깊이가공을 하는 경우 532nm파장을 이용한 경우가 가장 깊게 가공되었고 이는 레이저 빔의 내부반사도 중요한 메커니즘으로 작용한다는 것을 의미한다. 반면 저출력영역인 20mW에서 가공한 경우 355nm, 532nm, 그리고 1064nm의 파장 순으로 흡수율과 일치하였다. 800nm의 파장을 가지는 펄초 레이저의 경우 100mW영역에서 피코초 1064nm 파장의 경우보다는 깊게 가공되었으며 355, 532nm의 파장을 가지는 피코초레이저와 비슷한 가공경향을 띄었다. 반면 20mW의 영역에서는 355nm 파장의 피코초레이저가 펄초 레이저에 비해 깊게 가공되었다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 최근 상용화되기 시작한 피코초 레이저와 기존의 펄초 및 나노초 레이저와 가공성을 비교 분석하였다. 피코초 레이저는 나노초 레이저에 비해서는 열적영향이 적으며 펄초 레이저 가공과는 큰 차이를 보이지 않았다. 오히려 피코초 레이저의 355nm파장은 고속 및 저출력영역에서는 가공특성이 뛰어나 금속의 마이크로 가공용으로 적합한 것으로 판단된다. 반면 저속(1mm/sec 이하), 고출력영역(100mW 이상)에서는 532nm의 파장을 이용한 경우가 가장 깊게 가공되었으며 이는 내부반사에 의한 가공이 중요한 요소로 작용한다는 것을 보여준다.

#### 후기

본 연구는 산업자원부 지원사업인 핵심기술개발사업의 “첨단레이저 응용 미세가공기술 개발”과제의 지원으로 수행된 것입니다.

#### 참고문헌

1. Spence, D.E., Kean, P.N. and Sibbett, W., "60-fsec pulse generation from a self mode-locked Ti:Sapphire laser," Opt. Lett. Vol16, pp. 42, 1991.
2. Spectra-Physics Lasers, United States Patent 5,812,308: Mode locked laser and amplifier (1998).
3. Strickland, D. and Mourou, G., "Compression of amplified chirped optical pulses," Opt. Commun. 56, 219, 1985.
4. F. Dausinger, H. Hügel, V. Konov, "Micromachining with ultrashort laser pulses, from basic understanding to technical application," Int. Conf. on Advanced Laser Technologies 2002), pp. 15-20.