

피코초 UV 레이저 펄스를 이용한 Ni 소재의 미세 패터닝 Micro Patterning of Bulk Ni with Picosecond Ultraviolet Laser Pulses

한국기계연구원 지능형정밀기계연구부 손현기, 노지환, 이제훈, 서정

I. 서론

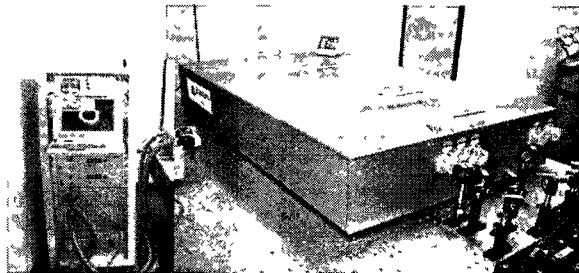
단파 레이저(short pulse laser)를 이용한 미세가공은 고정밀도의 구조를 가공할 수 있는 장점 때문에 최근 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다 초단파 레이저의 응용분야는 바이오 소자, 마이크로 센서, 마이크로 전자소자 등 다양하다[1-3] 특히 펨토초(femtosecond)와 피코초(picosecond) 레이저는 열확산(thermal diffusion)이 국소적으로 제한되기 때문에 미세가공분야에서 많은 관심을 받고 있다

피코초 레이저를 이용한 금속 재료의 미세가공의 경우에는 재료 표면에 입사되는 레이저 빔의 펄스폭이 금속재료의 열풀림(thermal relaxation) 시간, 즉 레이저 빔에 의해 발생한 전자의 진동이 격자(lattice)로 전달되는 시간보다 짧아서 금속재료의 미세가공에 적합한 것으로 알려져 있다 또한, 최근 개발된 피코초 레이저의 펄스 반복율이 수백 kHz 수준이므로 미세가공 산업에의 응용가능성이 매우 높다고 할 수 있다

본 연구에서는 피코초 레이저를 이용한 마이크로 몰드의 가공에 대한 기초 실험을 수행하였다 레이저 펄스 반복율과 조사 선속을 변화시키면서 각 경우에 재료 제거율(ablation rate)을 조사하였으며, 사용된 소재는 가공면이 연마된 니켈이다 니켈은 몰드(mold) 재료로 널리 사용되는 재료이다

II. 실험방법

본 실험에서는 Nd YVO4 레이저를 사용하였으며, 기본 파장은 1064 nm, 펄스폭(pulse duration)은 10 ps, 최대 반복율(repetition rate)은 640 kHz이다 기본 파장으로부터 Thurd harmonic generator를 이용하여 파장을 UV 영역의 355nm로 변환하여 실험하였다 실험에 사용된 재료는 몰드(mold) 재료로 많이 사용되고 있는 니켈(nickel)을 선택하였다



<그림 1> 다파장 및 복수 파장이 가용한 피코초 레이저

그림 1에 실험에서 사용한 피코초 레이저 미세가공 시스템을 나타내었다 피코초 레이저를 마이크로 몰드의 제작에 하기 위한 기초 실험으로써 레이저 조사 선속, 펄스

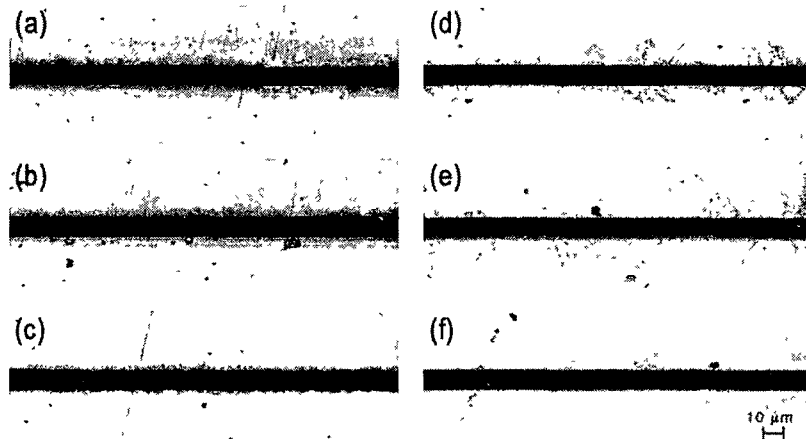
반복율 변화에 따른 재료 제거율(ablation rate)을 조사하였다 레이저 조사 선속은 1, 10, 20 mm/sec, 펄스 반복율은 100, 300, 600 kHz로 설정하였으며, 레이저 출력은 실험에 사용한 각 반복율에서 최대값을 사용하였다(표 1 참조) 주변 온도 변화의 영향을 배제하기 위해 가공면이 연마된 니켈 소재를 대기중 항온(22℃) 분위기에서 제거 가공하였다 <그림 1>의 가공 시스템에서 가공 소재의 이송에 사용되는 XY 테이블의 위치 정밀도는 $\pm 1 \mu\text{m}$ 이며, 최대 이송선속은 20 mm/sec이다 가공된 시편은 아세톤 용액을 이용하여 30분간 초음파 세척하였다

표 1 펄스 반복율의 최대 평균 출력

펄스 반복율(kHz)	레이저 평균 출력(mW)
100	341 \pm 3
300	356 \pm 3
600	302 \pm 4

III. 결과 및 고찰

<그림 2>에서 보는 바와 같이 조사 선속이 증가할수록 가공된 패턴의 선폭이 증가하여 재료 제거율을 증가하지만, 선폭 경계선에 열영향부로 보이는 부분이 증가하게 된다 펄스 반복율이 증가하게 되면 펄스 에너지가 감소하여 열영향부가 감소하며 패턴의 치수 정밀도가 증가하게 되는 것을 볼 수 있다 이러한 경향은 <그림 3>에서와 같이 펄스 반복율이 600 kHz일 때 더욱 뚜렷이 나타난다



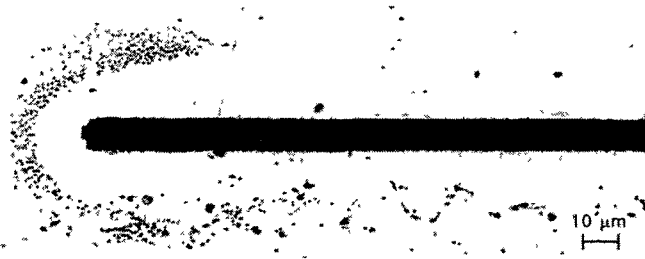
<그림 2> 펄스 반복율과 조사 선속의 변화 따른 직선 패턴닝 (a)100 kHz, 1 mm/sec, (b)100 kHz, 10 mm/sec, (c)100 kHz, 20 mm/sec, (d)300 kHz, 1 mm/sec, (e)300 kHz, 10 mm/sec, (f)300 kHz, 20 mm/sec

펄스 반복율이 600 kHz인 경우에는 조사 선속의 변화에 따른 패턴 선폭의 치수변화가 거의 없는 것을 알 수 있다 이것은 조사 선속에 비해 펄스 반복율이 매우 높아 실험에 사용한 니켈의 경우에는 fluence 변화의 영향이 그다지 크지 않기 때문이다

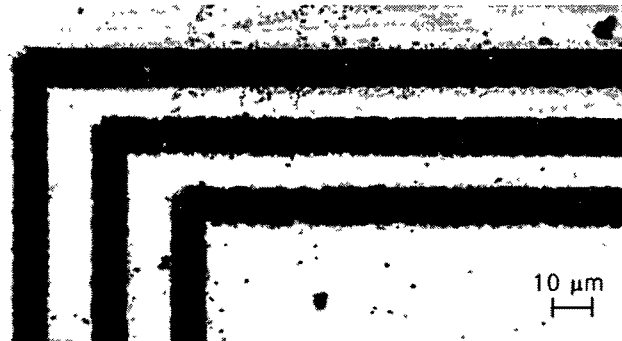


<그림 3> 펄스 반복율 600 kHz에서 조사 선속에 따른 패턴 선폭 변화 (a) 1 mm/sec, (b)10 mm/sec, (c) 20 mm/sec

극초단 펄스 레이저 가공 시스템의 경우에 레이저 펄스의 ON/OFF 제어를 위해 기계식 셔터를 쓰는 경우가 있는데 이 경우에는 레이저 빔의 끝점에서 원하지 않는 펄스가 소재에 주입되어 패턴의 선폭과 열영향부가 증가하게 된다 실험에서 사용한 피코초 레이저는 TTL 방식으로 외부 Trigger 신호를 이용하여 레이저 펄스의 ON/OFF 제어를 하고 있다 따라서, 패턴의 끝점에서 셔터의 반응시간이 늦어서 원하지 않은 펄스가 재료에 주입되지는 않는다 다만, 소재를 이송하는 XY 테이블의 가감속 구간에서 속도가 증감소하게 되어 이송시간이 정속 구간보다 길어지게 되어 레이저 펄스가 상대적으로 많이 주입되어 패턴 선폭이 증가하게 된다 이와 같은 현상은 모서리 형상을 가공하는 경우에도 마찬가지이다



<그림 4> 패턴 끝점 형상 펄스 반복율 600 kHz, 조사 선속 20 mm/sec



<그림 5> 모서리 부분의 패턴 형상 펄스 반복율 300 kHz, 조사 선속 20 mm/sec

<그림 4>와 <그림 5>에서 보는 바와 같이 TTL방식의 외부 Trigger를 이용하는 경우에 레이저 조사의 끝점과 모서리 부에서 선폭 또는 열영향부의 증가가 눈에 띄게 감소되는 것을 볼 수 있다

IV. 결론

펄스 폭이 10 ps, 기본 파장이 1064 nm인 Nd YVO₄로부터 파장을 355 nm로 변환하여 니켈 소재 표면에 미세가공 기초 실험을 수행하였다. 실험에서는 펄스 반복율을 100, 300, 600 kHz, 조사 선속을 1, 10, 20 mm/sec로 변화시키면서 패턴의 선폭 변화를 관찰하였으며, 또한 레이저 패턴의 시작점과 모서리 부분의 형상을 관찰하였다. 니켈에 대해서는 패턴 선폭이 10 μm 영역인 경우에 있어서는 펄스 반복율 600 kHz, 조사 선속 20 mm/sec에서 가장 정밀하고 열영향부가 적은 패턴을 가공할 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지원 핵심기술개발사업인 “첨단레이저 응용 미세가공기술 개발 과제”의 지원으로 수행되었습니다.

V. 참고문헌

1 X Xu, J W Ryu, D A Willis, Pulsed laser machining of thin films for microsensor development, Proceedings of the International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics, Vol 88, Laser Microfabrication, Laser Institute of America, Orlando, FL, 1999, pp 160-166

2 R S Patel, T F Redmond, C Tessler, D Tudryn, D Pulaski, Laser via ablation technology for MCM-D fabrication at IBM Microelectronics, Int J Microirc Electron Packaging 18 (3) (1995) pp 266-273

3 S M Metev, V P Veiko, Laser-assisted Microtechnology, 2nd Ed, Springer, Berlin, 1998