

고출력 Green DPSS 레이저를 이용한 알루미늄 세라믹 절단과 스크라이빙

세라믹은 임플란트나 의료기기와 같은 생체 의학 어플리케이션 뿐만 아니라 열악한 환경의 인쇄 회로 기판 (PCB) 소재로서, 또는 높은 열을 방출하는 LED 패키징과 같은 분야에서 일반적으로 사용됩니다. 열악한 고온 환경에서 세라믹의 경도, 화학적 불활성, 그리고 전반적인 탄력성은 세라믹을 다양한 산업에 걸쳐서 탁월한 선택으로 만듭니다. 세라믹 부품을 제조할 때, 절단, 스크라이빙, 또는 드릴링 같은 형태의 레이저 가공이 일반적으로 사용되기에, 시장에서 이용 가능한 다양한 레이저 기술의 영향을 이해하는 것은 매우 유익하다.

소결된 알루미늄 산화물 (Al_2O_3 , “알루미나”) 은 산업용 세라믹으로 빈번하게 사용되는데 레이저 가공 측면에서는 다양한 문제를 야기한다. 우선, 절제 임계값이 높아서 재료를 효율적으로 제거하려면 높은 에너지 밀도, 플루언스가 필요하다. 반면에 깨지기 쉬운 특성으로 인해 얇은 기판의 경우 과도한 열에 파손되기 쉽다. 마지막으로, 알루미나의 상대적으로 비싼 가격은 더 좁은 절단 폭과 높은 집적도를 요구하기 때문에, 이와 같은 취성 특성은 심각한 수율 및 생산 비용 문제를 초래할 수 있다. 이러한 과제를 극복하기 위한 잘 알려진 접근 방법은 나노초 펄스의 다이오드 펌핑 고체레이저 (ns DPSS), 특히 Green 또는 UV 파장을 사용하는 것이다.

UV 레이저는 알루미나 가공에 있어서 Green 레이저에 비해 몇 가지 장점이 있다. 접합 재료의 높은 흡수로 절제 효율이 향상되고 더 긴 레일리 범위와 더 작은 초점 크기는 가공에 효과적이다. 이러한 UV 레이저의 장점들에도 불구하고 Green 레이저는 UV 레이저와 비교해서 전반적으로 적은 초기 및 유지 보수 비용과 고출력이라는 경쟁력 있는 옵션이 있다.

MKS Spectra-Physics® Talon® ns DPSS 레이저 플랫폼은 Green 과 UV 파장 모두에서 산업용 세라믹 절단과 스크라이빙에 탁월한 품질과 생산성을 달성할 수 있음을 입증했다 (어플리케이션 노트 36). 이 데이터를 확장하기 위해, 275 kHz 펄스 반복 주파수(PRF)에서 >70W 평균 출력을 제공하고 최대 700kHz까지 >60W 출력을 유지하는 Green 나노초 레이저인 Talon GR70 을 사용하여 테스트를 진행했다. 레이저는 $f=100$ mm 의 f-theta 렌즈로 대략 $16 \mu m$ ($1/e^2$) 의

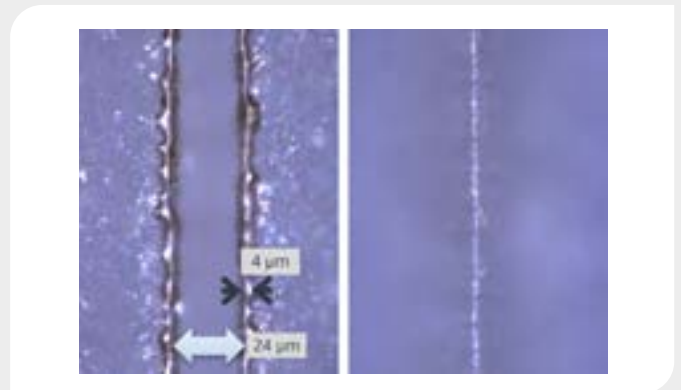


그림 1. 표면 상단(왼쪽)과 스크라이브 하단(오른쪽)에 초점을 맞춘 스크라이브의 하단식 보기. 스크라이브 폭은 $24 \mu m$ 이며 HAZ(열 영향부)는 $4 \mu m$ 이다. 스크라이브 하단은 균일한 깊이의 부드러운 트렌치를 보여준다.

직경이 되도록 초점을 맞췄다. 절단과 스크라이빙은 4 m/s 스캔 속도의 고속 다중 패스를 적용했고 패스 횟수를 다르게 하여 스크라이브 깊이를 조절했다.

스크라이브는 200- μm 두께의 알루미나 플레이트 재료에 65 W, 500 kHz, 130 μJ 펄스 에너지로 가공했다. 그림 1은 25 μm 깊이와 24 μm 스크라이브 폭 결과를 보여주는데, 4 m/s 에서 10회 반복 스캔하여 400 mm/s 의 요효속도를 기록하였다. 스크라이브 주변으로 잔해물은 거의 없었고, 열 영향부 (HAZ) 5 μm 이내로 최소화하였다. 또한, 스크라이브 바닥은 일정한 깊이로 부드럽게 형성이 되어 스캔 속도와 PRF 가 최적으로 조합되어 있음을 보여주었다.

알루미나 플레이트를 완전히 절단하기 위해서는 고정된 간격으로 인접하고 평행한 스크라이브 라인을 추가하여 절단 폭을 넓게 하는데, 이 방법은 스크라이브가 깊어짐에 따라 발생하는 스크라이빙 효율 (스캔당 깊이) 감소를 보상하는 데 도움이 된다. 깊이가 증가함에 따라 스크라이브가 더 좁아지는 “테이퍼” 경향에 맞춰서 스크라이브 라인의 수도 좁아지는 폭과 일치하는 방식으로 줄어들게 할 수 있다. MKS Spectra-Physics 에 의해서 개선된 이 테이퍼 매칭 기술은 가장 바깥쪽 스캔을 점진적으로 배제하여 전반적인 스크라이빙 효율성을 향상시킨다.

그림 2는 여러 나노초 DPSS 레이저에 대한 트렌치 깊이와 속도를 비교한 것이다. 저출력 Green 이나 30 W, 45 W 출력의 UV Talon 시리즈 레이저에 비해 Talon GR70 의 극적인 생산성 향상이 확인되었다. 빨간색 원은 Kerf 확대와 테이퍼 매칭을 결합하여 완전히 최적화된 결과를 나타내며, 37.5 mm/s 의 순 속도로 200 μm 두께의 알루미늄을 완전 절단한다. 이는 동일한 순 속도에서 Talon UV45 를 사용하여 얻은 결과에 비해 깊이가 두 배이다. 다른 모든 데이터 포인트는 Kerf 확대나 테이퍼 매칭 없이 다중 중첩 스캔만의 스크라이브 깊이를 나타낸다.

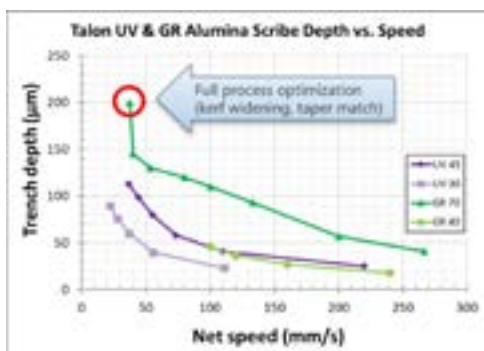


그림 2. 트렌치 깊이 vs. 순 가공 속도. UV30, UV45, GR40, and GR70. 차트는 Talon GR70 을 사용했을 때 순 속도가 크게 향상되어 200 μm 두께의 알루미늄을 절단하는데 37.5 mm/s 의 속도를 달성했음을 보여준다.

저출력 Green, UV 레이저와 비교해서 Talon GR70 의 스크라이브 깊이가 크게 향상된 것은 평균 출력이라는 변수로만은 설명되지 않는다. 예를 들어, 100 mm/s 의 순 속도에서 65 W 로 운용하는 GR70 의 깊이는 GR40 과 UV45 레이저 깊이의 거의 2.4 배이지만, 상대적인 출력의 이점은 1.63 배와 1.44배에 불과하다. 아마도 이 추가적인 효율 이득은 더 높은 PRF (3.3배) 와 더 긴 펄스 폭 (2배) 이 재료 가열을 증가시켜 생산성이 올라간 것으로 해석해 볼 수 있는데, 단 재료의 균열이나 열 응력 실패를 방지할 수 있을 만큼 충분히 냉각된 상태로 유지되어야 한다. 흥미롭게도 UV45 레이저에 비해 GR70 의 깊이 이점은 더 깊은 스크라이브에서는 감소한다. 이는 더 짧은 UV 파장과 관련되 더 긴 레일리 범위 때문일 가능성이 높으며, 이는 더 높은 종횡비 특성 가공에는 유리하다.

깊고, 높은 종횡비의 세라믹 스크라이브는 부분적으로 각진 측벽으로 인한 플루언스 감소와 잔해물 배출의 어려움으로 인해 제작하기가 쉽지 않다. 잔해물은 스크라이브가 깊어 질수록 더 축적되는 경향이 있으며 결국에는 절제를 방해하고 지연시킨다. Talon GR70 으로 제작한 상대적으로 깊은 스크라이브의 단면 분석을 해보면 전체 종횡비가 5:1로 일관된 6°의 테이퍼가 나타난다 (그림 3). 품질면에서는 후처리하지 않은 그대로의 상태에서도 HAZ는 낮고 남은 잔해물도 최소화된다.

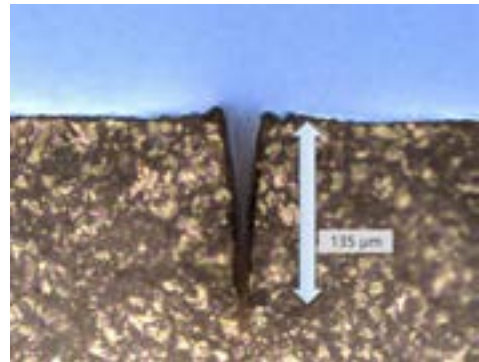


그림 3. 깊이 135 μm , 종횡비 5:1 스크라이브의 단면은 스크라이브 내에 최소한의 잔해물 축적과 낮은 HAZ를 보여주며, 별도의 후처리나 세정은 하지 않았다.

알루미늄과 같은 산업용 세라믹은 유리한 재료 특성으로 인해 의료 기기부터 전자 제품 포장까지 다양한 응용 분야에서 사용되지만 몇 가지 가공 문제가 있다. 알루미늄은 높은 레이저 플루언스를 요구하는 절제 임계값을 가지면서도 열 응력에 파손되기 쉽다. 제시된 결과는 탁월한 품질과 생산성을 더한 GR70 이 저출력 Green, UV 레이저보다 뛰어난 성능으로 알루미늄 가공에 우수한 후보임을 입증하였다. 스크라이브 결과는 매끄러운 트렌치 바닥, 최소한의 HAZ, 그리고 잔해물이 거의 또는 전혀 없음을 보여준다. Kerf 확장 및 테이퍼 매칭 최적화를 통해서, 200 μm 두께의 알루미늄 플레이트 절단에 37.5 mm/s 의 순 절단 속도를 얻었다.

제품-어플리케이션 성능 주요내용:

- Talon GR70 ns 레이저로 뛰어난 품질과 높은 생산성의 알루미늄 스크라이빙과 절단을 할 수 있습니다.
- Talon GR70 의 높은 PRF 최적화 지점 (275kHz 에서 70 W, 700kHz 에서 >60 W) 은 고속 세라믹 가공에 이상적입니다.
- Talon GR70 의 펄스 대 펄스 안정성은 각 펄스에서 최적의 플루언스를 생성하여 더 높은 펄스 속도로 고품질, 고속 가공을 할 수 있습니다.
- Talon GR70 의 생산성은 저출력 Green, UV DPSS 레이저에 비해 기대할 수 있는 이득이 많습니다.
- Talon GR70 은 까다로운 산업용 세라믹의 고품질 레이저 가공을 위한 비용 대비 성능 효과에서 탁월합니다.

제품

The Talon® UV and Green Lasers

Talon 레이저 플랫폼은 전례 없는 성능, 신뢰성 및 비용 조합을 제공하는 UV 및 Green DPSS (Diode-pumped solid state) Q-스위치 제품군입니다. Talon은 Spectra-Physics의 *It's in the Box*™ 디자인을 기반으로 레이저와 컨트롤러가 하나의 소형 패키지로 통합되어 있습니다. Talon은 수만 시간의 작동 시간 동안 높은 펄스 안정성과 우수한 TEM₀₀ 모드 품질을 보여줍니다.

Talon 레이저는 시스템 가동 시간이 중요한 24/7 제조 환경에서 미세가공 응용 분야를 위해서 특별하게 설계되었습니다. 이 어플리케이션 노트에서 소개한 것처럼 완전한 Talon 포트폴리오는 광범위한 출력과 파장을 선택할 수 있는 뛰어난 장점입니다. Talon은 성능, 신뢰성과 타협 없이 업계에서 가장 저렴한 유지 보수 비용으로 파격적인 비용 대비 성능을 제공합니다.

	Talon UV45	Talon UV30	Talon UV20	Talon UV15	Talon UV12	Talon UV6	Talon GR70	Talon GR40	Talon GR20
Wavelength	355 nm	355 nm	355 nm	355 nm	355 nm	355 nm	532 nm	532 nm	532 nm
Power ²	>30 W @ 100 kHz	>15 W @ 50 kHz	>10 W @ 50 kHz	>15 W @ 50 kHz	>12 W @ 50 kHz	>6 W @ 50 kHz	>70 W @ 275 kHz	>20 W @ 50 kHz	>20 W @ 50 kHz
	>45 W @ 150 kHz	>30 W @ 100 kHz	>20 W @ 100 kHz	>13 W @ 100 kHz	>10 W @ 100 kHz	>4 W @ 100 kHz		>40 W @ 100 kHz	>18 W @ 100 kHz
	>35 W @ 200 kHz	>23 W @ 200 kHz						>36 W @ 200 kHz	
	>23 W @ 300 kHz	>17 W @ 300 kHz	>11 W @ 300 kHz	>3 W @ 300 kHz	>3 W @ 300 kHz	>1 W @ 300 kHz		>30 W @ 300 kHz	>13 W @ 300 kHz
Repetition Rate	0-500 kHz						0-700 kHz	0-500 kHz	
Pulse Width	<35 ns @ 150 kHz	<25 ns @ 100 kHz					<43 ns @ 550 kHz	<25 ns @ 100 kHz	
Pulse-to-Pulse Energy Stability	<2% rms @150 kHz	<2% rms @100 kHz, typical				<2% rms @50 kHz, typical	<3% rms up to 550 kHz	<2% rms @ 100 kHz, typical	
	<3% rms up to 300 kHz <5% rms above 300 kHz	<3% rms up to 150 kHz <5% rms up to 300 kHz, typical						<3% rms up to 300 kHz <5% rms above 300 kHz	

		Talon HE UV500	Talon HE UV275	Talon HE GR1000
Wavelength		355 nm	355 nm	532 nm
Power ²	15 kHz	—	—	15 W typical
	20 kHz	>10 W	5.7 W typical	>15 W
	40 kHz	7.7 W typical	>11 W	13 W typical
	100 kHz	4.2 W typical	5.9 W typical	10 W typical
Repetition Rate		0 to 150 kHz		
Pulse Width		25–40 nsec @ 20 kHz	40–60 nsec @ 40 kHz	25–40 nsec @ 20 kHz
Pulse-to-Pulse Energy Stability		<3% rms		