

고출력 다이오드 레이저(HPDL)의 산업적 응용

한국기계연구원
레이저기술연구그룹
이제훈 서정

1. 서론

레이저 가공은 레이저 발전장치 및 레이저 가공 공정의 지속적인 개발과 함께 그 적용 영역이 여러 산업 분야로 급속히 확대되어 가고 있으며, 또한 기존의 공정에 대한 대체 공정으로서의 기술적, 경제적 타당성 및 신뢰성을 확보해 나가고 있다. 지금까지 레이저를 이용한 재료 가공에 폭넓게 적용되어온 CO₂, Nd:YAG 그리고 Excimer 레이저에 비하여 고출력 다이오드 레이저(HPDL)가 상용화되어 재료 가공에 적용된 것은 불과 수년 정도밖에 되지 않는다. 따라서 고출력 다이오드 레이저는 새로운 가공 도구로서 재료 가공에 대한 잠재력이 매우 크며, 다이오드 레이저가 갖고 있는 고효율(high efficiency), 콤팩트 사이즈(compact size) 그리고 짧은 파장은 이러한 잠재력을 현실화 할 수 있는 대표적인 장점으로 알려져 있다.^{1,7)} 또한 간편한 유지·보수 및 시스템 접목성, 다이오드의 긴 수명 그리고 광 케이블을 이용한 빔 전송은 경제적 타당성과 함께 산업적 적용에 필요한 요구 조건을 충족시키고 있다. 이러한 장점에도 불구하고 현재까지 다이오드 레이저는 기존의 레이저에 비하여 빔 품질이 매우 떨어지는 단점으로 인하여 초점에서 얻을 수 있는 출력 밀도 10⁶W/cm² 영역 이하로 제한을 받고 있다. 따라서 향후 고출력 다이오드 레이저에 대한 개발은 빔 품질을 향상시키고 출력을 높이는 데 주력할 것으로 예상된다. 이러한 출력밀도의 한계에도 불구하고 다이오드 레이저가 재료 가공 분야에 새로운 에너지원으로 부각되고 있는 이유는 다이오드 레이저만이 갖고 있는 빔의 특성 즉, 빔의 파장, 형상 및 출력밀도 분포 그리고 출력의 안정성에 따른 금속재료에 대한 높은 흡수율과 빔 형상 변환(beam forming)에 대한 유연성에 있다고 할 수 있다. 이러한 레이저 빔의 특성을 살린 대표적인 재료 가공으로는 표면처리, 열전도성 용접(heat conduction welding), 레이저 브레이징 및 솔더링 그리고 비금속 접합을 들 수 있다.

본 고에서는 고효율 다이오드 레이저의 개발 현황과 장단점을 비교하고, 다이오드 레이저의 장점을 살린 재료 가공 분야의 응용 사례를 분석함으로써 고효율 다이오드 레이저에 대한 이해와 향후 전망에 대하여 논하고자 한다.

2. 레이저 빔의 특성

2.1 Beam profile

현재 단일 레이저 다이오드 모듈에서 방출되는 레이저 출력은 수 mW 밖에 이르지 못하고 있다. 이러한 레이저 모듈은 특히, 통신, 측정 및 의료용으로 사용되고 있으며, 재료 가공에 필요한 고효율을 얻기 위해서는 개개의 다이오드 모듈을 선형으로 조합시킨 바 어레이(bar array or line collimated array)를 구성고, 다시 바 어레이를 적층한 스택 어레이(stack array)를 제작하게 된다(Fig. 1).⁵⁾ 바 어레이는 일반적으로 500 여 개의 다이오드 모듈로 구성되어 있으며, 전형적인 바 어레이의 크기는 10mm x 0.6mm x 0.12mm 이며 0.6mm가 resonator의 길이가 된다.

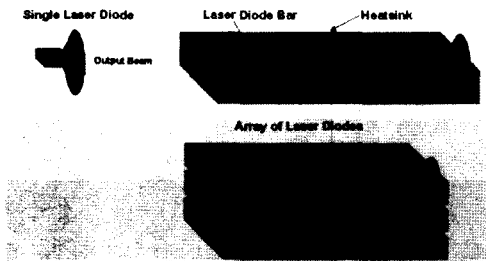


Fig.1 Schematic diagram of high power diode laser composed from single diode laser⁵⁾

특수한 냉각 시스템에 부착된 바 어레이는 60W 정도의 출력을 방출하며 이때의 효율은 약 40%에 도달하고 있다. 레이저 빔이 10mm x 1 m 크기의 면적에서 방출되기 때문에 빔은 방출 특성상 비대칭적이고 매우 상이한 분산각을 갖고 있다. Fig. 2¹⁾에서는 출력 800W의 다이오드 레이저 빔을 실린더 렌즈로

집광하였을 경우의 초점 위치에 따른 전형적인 빔 profiles 나타내고 있다. 이러한 빔의 profile과 propagation 이 기존의 레이저 빔과 구별되는 특성이며, 이러한 특성이 결국 재료 가공에 영향을 미치게 된다. 현재 상용화되어 있는 최대 출력은 6kW이며 10kW 급 다이오드 레이저의 개발이 진행되고 있다. Fig 3 은 현재 상용화되어 있는 4kW 고효율 다이오드 레이저와 빔의 profile을 보여주고 있다.⁷⁾ Laserline사의 4kW 레이저 헤드의 크기 344x140x243mm이며 헤드 자체의 무게는 18kg이다. 측정된 빔의 크기는 3.6mm x 1.1mm 를 나타내고 있으며 Rayleigh length가 5.56mm를 나타내고 있다.⁶⁻¹²⁾

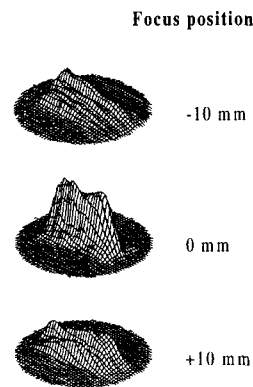


Fig.2 Beam profiles of a 800W HPDL system measured at different focal positions¹⁾

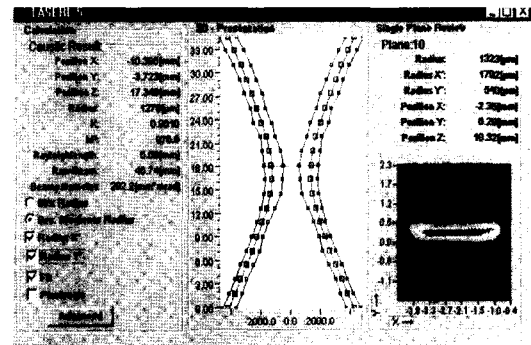


Fig.3 A view of the measured beam profile (4kW high power diode laser)⁷⁾

2.2 에너지 흡수

다이오드 레이저의 파장은 800nm-940nm 영역으로 Nd:YAG 레이저 파장 보다 짧아서 일반적으로 금속에 대한 에너지의 흡수율이 높다. Fig. 4에서 보여 주는 바와 같이 대부분의 금속에 대한 에너지의 흡수율이 Nd:YAG 레이저 보다 높으며, 특히, 알루미늄 재질에 대한 흡수율은 808nm 영역에서 급격히 증가하고 있다.⁵⁾ 이러한 재료에 대한 높은 흡수율은 공정의 효율을 증가시키고 결국 경제적 측면에서의 새로운 응용분야가 창출되리라 예상된다. 재료에 대한 이론적인 에너지 흡수율은 대부분 순수 금속에 대한 이론 값으로서 합금 원소의 영향을 배제한 결과이다. Fig. 5에서는 알루미늄과 탄소강의 합금에 대한 다이오드 레이저의 에너지 흡수율을 Nd:YAG 레이저 빔에 대한 흡수율과 비교하였다.¹¹⁾

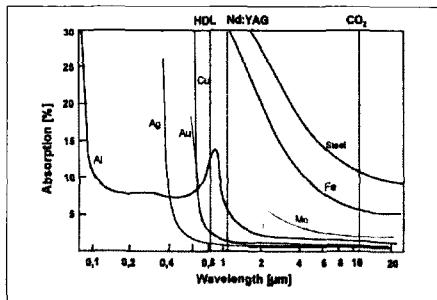


Fig.4 Absorptivity as a function of wavelength for various materials⁵⁾

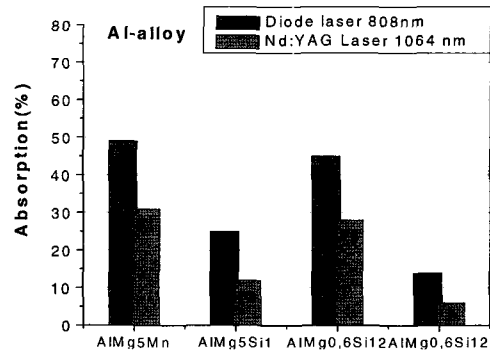
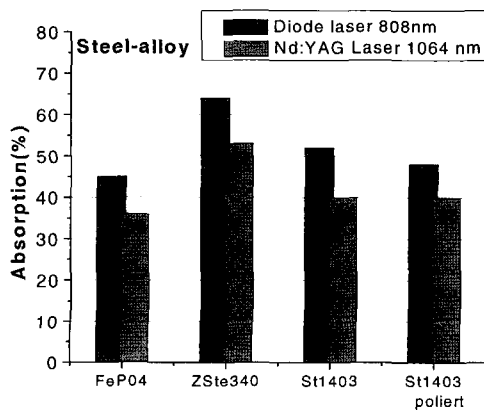


Fig.5. Absorptivity of different Al alloys and steels measured at 808nm and 1064nm¹¹⁾

또한, 표면 상태에 따른 흡수율의 변화를 일반 기계 가공과 폴리싱한 면에 대한 측정 값을 비교하여 Fig. 6에 나타내고 있다.¹¹⁾ 이미 언급한 바와 같이 알루미늄에 대한 다이오드 레이저의 흡수율은 Nd:YAG 레이저 보다 2배 정도를 나타내고 있으며, 탄소강인 경우 약 1.3배가 증가한 값을 보여주고 있다. Cu에 대한 두 파장의 흡수율은 거의 유사하게 나타나고 있는 것으로 보고되고 있다. 표면 상태가 흡수율에 미치는 영향을 살펴보면, 알루미늄의 경우, 기계 가공면에 대한 흡수율이 폴리싱한 면보다 약 3배 높게 나타나는 반면, 탄소강의 경우, 표면상태가 흡수율에 미치는 영향이 알루미늄에 비하여 작게 나타나고 있다. 또한, 탄소강의 경우 합금 원소의 영향이 알루미늄에 비하여 작게 미치는 것으로 나타나고 있다. 다이오드 레이저는 근본적으로 선형 편광된 빔을 방출하고 있다. 이러한 편광된 빔의 재료에 대한 흡수율을 증가시키는 방법으로 빔의 재료 표면에 대한 입사각을 증가시키는 방법이 알려져 있다. Fig. 6은 알루미늄 합금(AlMg5Mn)에 다이오드 레이저 빔을 조사하였을 경우, 빔 입사각이 흡수율에 미치는 영향을 나타내고 있다. 표면 상태에 따른 변화는 빔 입사각이 증가할수록 크게 나타나고 있으며, 두 경우 모두 입사각의 변화가 미치는 영향이 이론치에 미치지 못하고 있다. 입사각의 변화에 따른 흡수율의 증가는 약 1.3배에 달하고 있다.

Table 1 A direct comparison of 4kW HPDL to conventional lasers²⁾

	Direct Diode	CO ₂ Flowing	Nd:YAG	
			flash pumped	Diode pumped
Net system efficiency	25%	6%	1%	6%
Operating cost/h, cw at 100%	\$1.50	\$10.00	\$30.00	\$6.00
Wave length, μm	0.8	10.6	1.06	1.06
Absorption % - steel	40%	12%	35%	35%
Absorption % - Aluminum	13%	2%	7%	7%
Average intensity, W/cm ²	10 ³ to 10 ⁶	10 ³ to 10 ⁸	10 ³ to 10 ⁷	10 ³ to 10 ⁷
Current max. power, kW	6	50	6	4
Footprint for compl. system, sq. ft.	8	50	100	60
Replacements, hours	Laser arrays- 10,000 hrs	Optics-2,000hrs Blower/Turbine -20-30,000hrs	Lamps- 1,000hrs	Pumping Arrays- 10,000hrs
Laser/beam Mobility	High/High	Low/Medium	Low/High	Low/High

현재까지 상용화되어 있는 다이오드 레이저의 빔 모드와 이에 따른 짧은 초점거리를 고려할 때 입사각의 변화에 의한 흡수율의 증가는 큰 효과가 없는 것으로 판단된다.¹¹⁾

Table 1²⁾에서는 출력 4kW의 다이오드 레이저와 기존의 CO₂ 그리고 Nd:YAG 레이저를 비교하여 보여 주고 있다. Table 1에서 보여주는 바와 같이 다이오드 레이저 빔이 갖고 있는 대표적인 재료가공에서의 장점으로는 높은 흡수율과 컴팩트한 시스템에 기인한 유연성 그리고 유지 및 보수가 용이함을 알 수 있다.

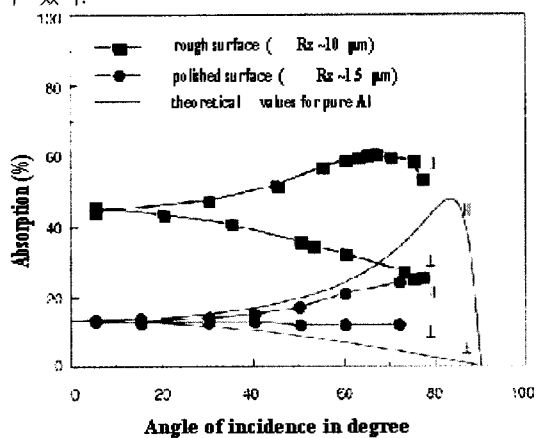


Fig. 6 Absorptivity in dependence on polarisation, roughness and angle of incidence (AlMg5Mn, $\lambda=808\text{nm}$)¹¹⁾

2.3 빔 전송

재료 가공에서 다이오드 레이저의 장점으로 빔 형상의 변화가 용이한 점을 들 수 있다. Fig. 7에서는 다이오드 레이저 빔의 전송 및 집광 방식을 보여주고 있다. 실린더 렌즈를 사용한 선형 집광 방식은 넓은 면적을 가공하는 표면처리 분야에 매우 효율적으로 사용할 수 있으며, 스폿 집광 방식은 선형 집광보다 정밀하고 높은 에너지 밀도가 요구되는 용접, 솔더링 분야에 적용이 가능하다. 고휒력 다이오드 레이저를 재료 가공에 유연성 있게 적용할 수 있는 이유 중의 하나로 광 케이블을 이용한 원거리 빔 전송이 가능하다는 것이다. 집광된 레이저 빔은 광 케이블을 통과함으로써 원형의 형상으로 바뀌며 출력 밀도의 분포도 균일하게 이루어지게 된다. 광학계를 이용한 빔 전송뿐만 아니라 다이오드 레이저의 컴팩트함과 가벼운 헤드는 레이저를 직접 로봇 팔에 장착하여 용접, 표면처리 등 재료가공을 가능하게 한다. Fig. 8은 1.5kW급의 다이오드 레이저를 직접 로봇 팔에 부착하여 재료를 용접하는 장면을 보여주고 있다.¹⁰⁾

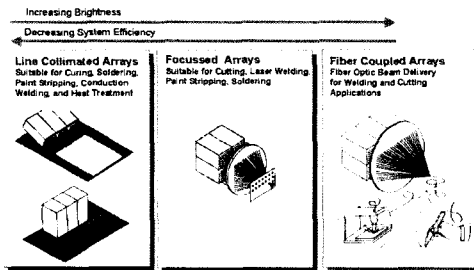


Fig.7 Beam delivery and focusing system

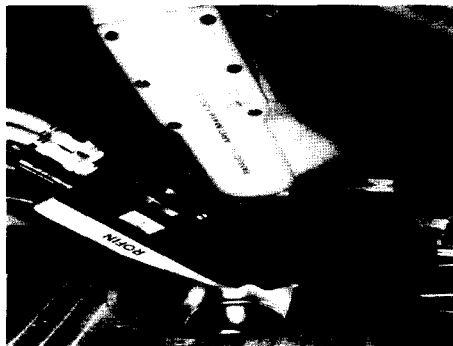


Fig.8 The combination of diode laser and robot¹⁰⁾

3. 재료 가공에의 응용

3.1 표면처리

고출력 다이오드 레이저를 이용한 표면처리 공정은 표면 열처리, 표면 용융 그리고 클래딩 공정을 대표적으로 들 수 있다. 일반적으로 레이저를 이용한 표면처리 공정의 장점으로는 표면을 국부적으로 선택하여 필요한 부위만 표면처리가 가능하도록 하는 것이며 또한 전체적인 입열량의 감소로 부품의 변형을 최소화할 수 있는 것을 들 수 있다. 다이오드 레이저의 적용 분야로는 기존의 CO₂, Nd:YAG 레이저의 적용 분야와 유사하며 사각형상의 다이오드 레이저 빔 프로파일의 특성을 살려 효율적인 표면처리를 할 수 있다. 또한 다이오드 레이저를 이용한 열처리 공정에서는 CO₂ 레이저 열처리 공정에서 요구되는

카본 종류의 흡수층이 불필요하다. 자연 산화된 금속 표면에 대한 다이오드 레이저 파장의 흡수율은 약 70%에 달하고 있으며, 열처리 깊이가 0.1mm에서 1mm까지 그리고 상용화된 광학계를 이용하여 열처리 15mm(Power: 4kW)까지 구현하는 것이 가능하다. 이러한 다이오드 레이저 빔의 장점을 Fig. 9에서 도식적으로 나타내었으며, 실제 열처리한 컨트롤 축(100Cr6, d=10mm)의 가이드면을 보여 주고 있다.¹¹⁾ 여기서는 레이저 빔을 가이드면의 폭과 일치하게 선형 포커싱시켜 한번의 스캔으로 가이드면의 가공이 될 수 있도록 하였다. 열처리 깊이는 0.45mm이며 가공부의 평균 경도는 850 HV0.2를 나타내고 있다. Fig. 10은 피스톤링을 열처리한 결과로서 열처리 후의 변형을 무시할 수 있으며, 일정한 열처리 깊이와 한번의 레이저빔 조사로 열처리가 이루어지기 때문에 중첩부의 풀림 현상이 발생하지 않는다.¹³⁾

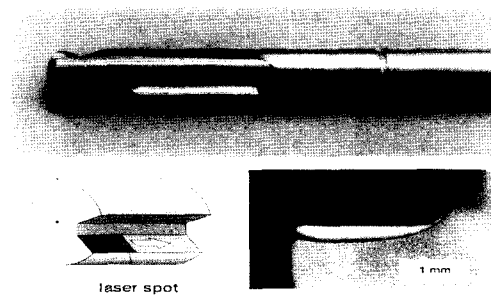


Fig.9 Transformation hardening of guide surface of a control shaft¹¹⁾

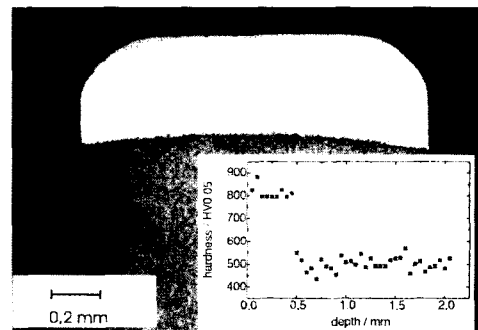


Fig.10 Cross section and hardness depth profile of a surface hardened piston ring at laser power of 1400W and velocity of 2.1m/min¹³⁾

다이오드 레이저를 이용한 클래딩의 장점은 열처리 공정에서 언급한 바와 같이 사각형태의 빔 형상을 효과적으로 이용할 수 있으며, 금속 재질에 대한 높은 흡수율로 인하여 공정 효율을 향상시킬 수 있다. 또한 재료 표면에 조사되는 빔의 출력 밀도 분포를 공정의 특성에 적합하도록 모듈화되어 있는 고출력 다이오드 레이저를 이용하여 Fig. 11에서 보여주는 바와 같이 유연성 있게 변화시킬 수 있다.¹⁴⁾

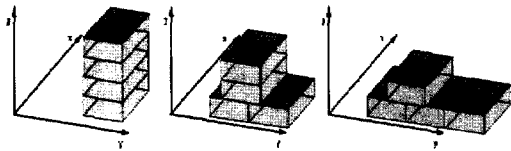


Fig.11 Principle of flexible adaptation of the power density by superposition of the spots of a modular high power diode laser¹⁴⁾

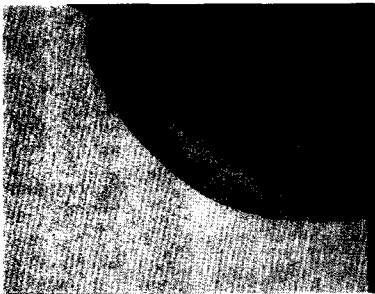


Fig.12 Typical cross section of the stellite F coating¹³⁾

또한 모재와 클래드 재료 사이에 생성되는 합금층을 기존의 Nd:YAG 레이저나 CO₂ 레이저를 이용한 클래딩에서 나타나는 5%(dilution)보다 적은 1% 미만으로 제어 가능한 것으로 알려져 있다. 모재 표면에 Ni, Cr 그리고 CO₂ 계열의 합금분말을 도포한 경우, 다이오드 레이저의 흡수율은 85%-95%에 이르는 것으로 보고되고 있다. Inconel 625와 Stellite 6 그리고 SUS 분말에 대한 클래딩 조건으로는 다이오드 레이저 3.15kW를 조사하여 가공속도 2m/min으로 높이가 1.2mm 그리고 폭이 12mm의 건전한 클래드층을 형성하였다. Fig. 12에서는 전형적인 stellite F

분말을 코팅한 엔진 벨브의 단면을 보여 주고 있다.¹²⁻¹⁴⁾

3.2 용접

고출력 다이오드 레이저를 이용한 용접은 일반적으로 열전도 용접(conduction welding)으로 이해될 수 있다. 열전도에 의한 금속의 용접은 기존의 Nd:YAG 레이저나 CO₂ 레이저 용접에서 형성되는 키홀에 의한 깊은 용입(deep penetration)이 발생하지 않고 레이저가 조사된 재료 표면으로 부터의 열전도에 의하여 재료가 용융, 응고되어 접합이 이루어진다. 레이저의 특성에서 언급한 바와 같이 다이오드 레이저가 아직까지 키홀 용접에 적용되지 못하는 이유는 레이저빔의 품질이 떨어지고 매우 큰 분산각을 갖고 있어서 재료 표면에 키홀 형성에 필요한 충분한 출력 밀도를 형성할 수 없기 때문이다. 현재 상용화되어 있는 고출력 다이오드 레이저로서 얻을 수 있는 출력밀도는 약 $6 \times 10^4 \text{W/cm}^2$ 정도이다. 따라서 일반적으로 다이오드 레이저를 이용한 용접은 수 mm 두께의 박판에 효과적으로 적용될 수 있다. 이러한 다이오드 레이저 빔의 특성에 기인한 낮은 출력 밀도와 빔 품질에도 불구하고 다이오드 레이저를 이용한 용접의 적용 분야가 증가되고 있는 것은 기존의 레이저 용접에서 제기되어온 문제점들을 해소하고 보완할 수 있는 공정 기술이 꾸준히 개발되어 오고 있기 때문이다. 다이오드 레이저가 적용되고 있는 용접분야는 크게 경량금속인 알루미늄, 티타늄 그리고 아연 도금강판의 용접을 대표적으로 꼽을 수 있다.⁵⁾ 위에 언급한 경량금속에 대한 다이오드 레이저의 용접은 기존의 레이저 용접에서 발생하는 기공, 크랙 그리고 용접 비드 표면 상태의 불균일함으로 인하여 발생하는 후가공 공정을 크게 개선할 수 있기 때문이다. 알루미늄 합금에 대한 연구는 자동차용 알루미늄 판재(5xxx, 6xxx 등)의 용접성에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. Fig. 13에서는 2mm 두께의 Al 합금(alloy 5754)에 대한 실험 결과로서 고출력 다이오드 레이저의 출력에 따른 용접속도와 용입 깊

이의 상관관계를 나타내고 있다.⁵⁾ 완전한 용입을 위한 용접속도가 4kW 출력에서 2m/min으로 나타나며 출력에 비례하여 용접속도가 변화됨을 알 수 있다. 용접부의 특성은 기존의 Nd:YAG 레이저 용접부와 유사한 것으로 보고되고 있으며 상대적으로 비드 표면 상태와 백 비드가 크게 돌출되지 않아서 후가공 공정을 간소화 할 수 있을 것으로 판단된다. 다양한 용접부 형상에 대한 용접부 단면을 Fig. 14에서 보여 주고 있다.

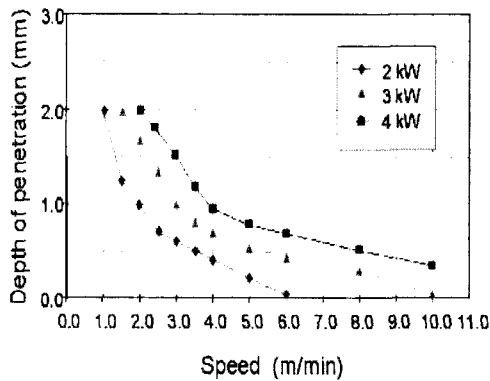


Fig.13 Penetration depth in relation to power and welding speed for Al-alloy 5754⁵⁾

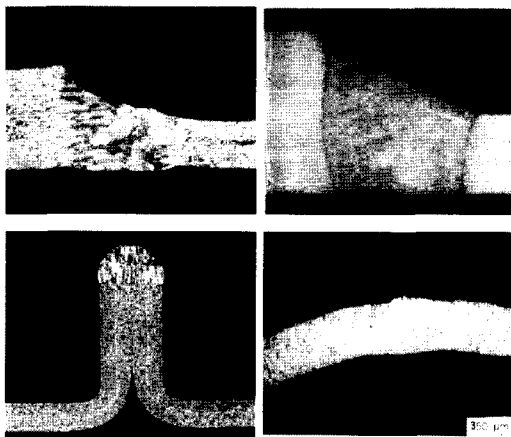
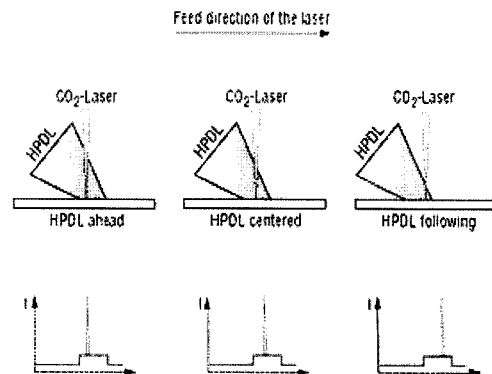


Fig.14 Cross section of HPDL welded joint for Al tailored blank, edge flange and Ti-tube⁵⁾

Fig. 14의 상단 그림은 두께 1mm와 2mm를 조합한 Al tailored blank를 용접한 단면 사진이며, 하단

의 그림은 두께 2mm의 알루미늄 edge flange 용접부 단면과 티타늄 튜브 용접부 단면을 나타내고 있다.⁵⁾ Tailored blank 용접공정에서 불량 발생 요인으로 크게 작용하고 있는 판재 사이의 겹에 대한 허용 범위가 기존의 레이저 용접 공정 보다 3배 정도 큰 것으로 알려져 있다. 특히, 튜브 제작시에는 기존의 GTAW 방식의 Tube mill에 직접 다이오드 레이저를 적용하여 용접 속도를 30% 이상 향상시키고 있으며, SUS 재질의 경우 후 가공이 필요 없을 만큼 용접부의 외관이 미려한 것으로 알려져 있다. 이미 위에서 언급한 바와 같이 고출력 다이오드 레이저의 낮은 출력밀도로 인하여 용접 속도가 기존의 레이저 용접에 비하여 낮은 단점을 갖고 있다.^{5),14,18)} 이러한 문제점을 보완하고 용접 품질을 향상시키기 위하여 다이오드 레이저와 기존의 CO₂나 Nd:YAG 레이저를 결합시킨 하이브리드 방식의 용접 공정에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다. Fig. 15에서는 하이브리드 타입의 레이저빔 정렬 방법을 보여주고 있다. Fig. 15에서 보는 바와 같이 기존의 CO₂ 레이저빔이 주 용접을 수행하고 다이오드 레이저를 측면에서 용접부위의 특정한 위치에 조사시킴으로서 결합이 없는 최적의 용접품질을 얻을 수 있다.¹⁹⁾ 다이오드 레이저의 역할은 넓은 부위를 조사함으로써 기존의 레이저에서 발생하는 키홀 내부의 기공을 효과적으로 배출시키고 예열 및 후열의 효과를 이용한 크랙 발생을 저지하게 된다.



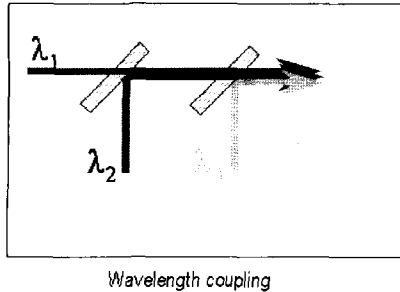


Fig.15 Schematic arrangement of the two or three different wavelength for hybrid welding system^{6,19)}

Fig. 16에서는 CO₂ 레이저와 CO₂고출력 다이오드 레이저로 구성된 하이브리드 타입의 시스템으로 용접한 아연 도금강판의 용접 비드를 비교하여 보여주고 있다.¹⁹⁾ 하이브리드 타입으로 용접한 비드의 형상은 일반적으로 V-타입 혹은 Y-타입으로 나타나고 있으며 다이오드 레이저의 조사 위치와 용접 속도에 따라 비드의 형상은 크게 변화하고 있는 것으로 보고되고 있다. Nd:YAG 레이저와 Nd:YAG-HPDL 하이브리드 타입으로 수행한 AlMgSi0.5 재질에 대한 용접 실험 결과를 Fig. 17에서 나타내고 있다.²⁰⁾ 재료의 두께는 2mm이고 사용한 레이저 출력은 2kW Nd:YAG 레이저와 2kW HPDL이다. Nd:YAG 레이저 단독인 경우 보다 하이브리드 타입으로 용접할 경우 속도가 약 50% 증가함을 알 수 있고 용접 결함은 현저히 감소하는 것으로 보고되고 있다. 하이브리드 타입 중에서 다이오드 레이저의 조사 방법이 용접 속도에 미치는 영향은 크게 나타나지 않고 있으나 용접 비드의 형상에는 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이러한 하이브리드 타입의 용접이 주는 장점은 이미 언급한 바와 같이 기존의 레이저로서 용접이 어려운 재료의 용접을 가능하게 하고 다이오드 레이저의 높은 효율로 인한 경제적인 효과를 꼽을 수 있다. 경량 재질에 대한 다이오드 레이저의 용접은 현재 2mm 이하의 박판 용접에 적용되고 있으나 다이오드 레이저를 이용한 키홀 용접을 비롯하여 에너지 효율을 증대시키기 위한 연구가 매우 활발히 이루어지고 있

으며, 향후 자동차 및 전자 부품 패키징 분야에서 필수적으로 적용될 핵심기술로 인식되고 있다.¹⁹⁻²¹⁾

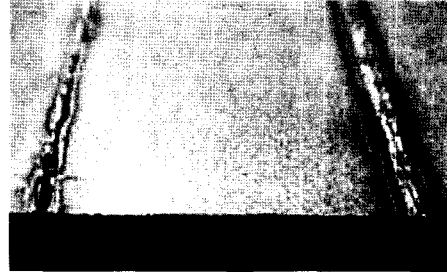


Fig.16 Zinc-coated steel in zero gap overlap welded at 4m/min. Left-2kW CO₂, Right-2kW CO₂ plus 1.5kW HPDL¹⁹⁾

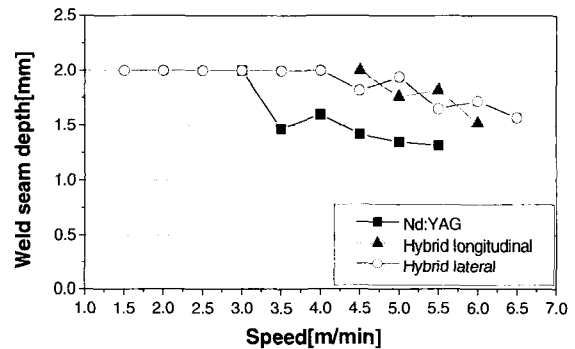


Fig.17 Weld seam depth plotted against welding speed for Nd:YAG and Nd:YAG-HPDL hybrid laser system (Material: AlMgSi0.5)²⁰⁾

전자 부품 패키징 분야에서 실용화되고 있는 기술은 폴리머 재료에 따른 다이오드 레이저 파장의 투과 및 흡수성을 이용한 용접이다. 레이저가 인입되는 부분을 투과성 폴리머 재질을 사용하고 상대편 부품의 재질을 흡수성 폴리머로 사용하면 표면에 가공 흔적이 없이 접합계면에서만 부분적으로 용융되어 접합이 이루어진다. 이러한 다이오드 레이저 용접은 기존의 초음파를 이용한 접합이나 접착제를 이용한 화학적 방법에서 제기되어온 문제점들을 해소하고 생산성을 향상시킬 수 있는 혁신적인 대대공정으로 주목받고 있다. Fig. 18은 다이오드 레이저 모듈을 이용한 폴리머 판재를 플라스틱 프레임에 용접하는

공정을 나타내고 있다.²³⁾ 여기서는 레이저 모듈을 접합부위에 정렬시켜서 동시에 모든 용접이 이루어지도록 구성하여 생산성을 극대화 할 수 있는 일례를 보여주고 있다. 일반적으로 플라스틱 재질에 대한 용접은 수십 W 범위의 다이오드 레이저를 사용하고 있으며 진동이나 오염으로 인하여 패키징 내부의 부품에 손상이 우려되는 경우에 유용하게 적용될 수 있다.^{21, 23)}

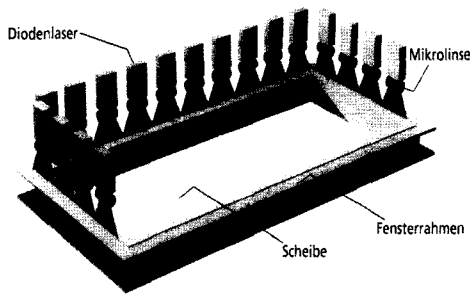


Fig.18 Simultaneous welding of plastic window²³⁾

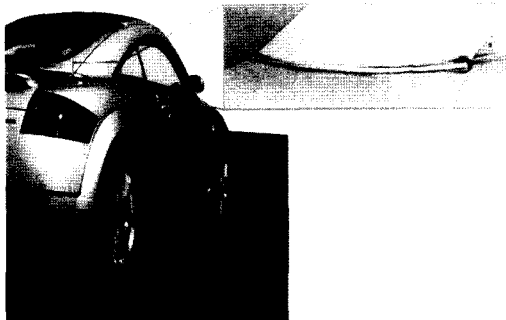


Fig.19 HPDL-silicon bronze brazing of galvanized steel for automotive fabrication²⁴⁾

이외 대표적인 응용 분야로는 다이오드 레이저를 이용한 브레이징 및 솔더링 공정이 있다. 특히, 브레이징 및 솔더링 공정에서는 레이저 빔 형상 및 출력 분포를 공정에 적합하게 모듈레이션시켜 사용함으로써 접합부의 결함은 물론 후가공을 거치지 않고 직접 패인팅할 수 있는 미려한 접합부를 얻을 수 있다.

Fig 19에서는 다이오드 레이저를 이용한 브레이징 접합부의 단면과 실제 자동차 산업에 적용된 예를 보여주고 있다.²⁴⁾

4. 결 론

고출력 다이오드 레이저의 산업적 응용은 최근 고출력 다이오드 레이저 모듈과 광학 시스템 기술의 성장으로 인하여 기존의 레이저 응용 분야인 용접, 표면처리, 브레이징 및 솔더링 등 다양한 분야의 대체공정 및 신 공정 개발에 지속적으로 확대되어 가고 있다. 고출력 다이오드 레이저의 장점으로는 크게 고효율, 컴팩트한 시스템, 짧은 파장 그리고 간편한 빔 이송방법 등을 들 수 있다. 또한, 모듈화된 다이오드 레이저 어레이를 이용한 빔 형상의 모듈레이션이 가능하여 공정에 적합한 최적의 레이저 빔과 재료의 상호작용을 유도할 수 있는 공정의 유연성이 큰 장점이다. 본 고에서는 고출력 다이오드 레이저의 특성과 기존의 레이저 빔과의 차이점을 기술하였고, 또한 대표적인 응용 분야인 표면처리 및 용접중에서 다이오드 레이저의 빔 특성을 최대한 활용하여 기존의 레이저 공정을 대체할 수 있는 기술들을 소개하였다. 고출력 다이오드 레이저의 응용 기술 개발은 아직 시작 단계에 불과하다고 할 수 있다. 특히, 경량 금속인 알루미늄, 티타늄 그리고 아연도금 강판등에 대한 기존의 레이저 용접에서 제기되고 있는 문제점들을 해결할 수 있는 하나의 대안으로 주목받고 있으며, 열처리, 클래딩 그리고 클리닝 등 대면적 표면 가공에서의 다이오드 레이저 응용 기술은 적용 분야가 점차 확대되어 가고 있다. 결론적으로 고출력 다이오드 레이저의 산업적 응용은 자동차, 전자 그리고 항공우주산업 분야 등에서 급속히 증가할 것이 확실시되며, 이에 대한 이해와 기술력을 확보하여 관련 분야의 기술 경쟁에서 우위를 선점하는 것이 시급히 요구되고 있는 실정이다.

참고 문헌

- [1] H. Huegel: Recent developments of solid state and diode lasers for material processing. ECLAT 98, pp.22-23.
- [2] L. Li, M.J.J. Schmidt, J.T. Spencer: Comparison of the characteristics HPDL, CO₂, Nd:YAG and Excimer laser for paint stripping. LIA Vol. 89, 2000, pp.3-10
- [3] R. Poprawe, et.al.:New lasers for new applications. ECLAT 98, pp.11-19.
- [4] R. Poprawe: Industrial applications of high power diode lasers. ICALEO'99, Nov. 1999.
- [5] Nuvonyx: Catalogue, 2001.
- [6] Rofin-sinar: Catalogue, 2001.
- [7] Laserline: Catalogue, 2001.
- [8] F. Bachmann:High power diodes for direct processing. ICALEO 2000, LIA Vol.89,pp.115-124
- [9] M. Haag: Materialbearbeitung mit einem hochleistungsdiodenlasersystem. Euro Laser, 1997, pp.34.
- [10] C. Brettschneider, F. Bachmann: Small and economical: Industrial high-power diode lasers. Laseropto, 1, 1999, pp.68-70.
- [11] M. Brandner, et. al.: Effective transfer of specific beam properties of HPDL into material processing. Laseropto, 1, 1999, pp.71-74.
- [12] B. Schuermann, G. Vitr, K. Wissenbach: Surface treatment with diode laser radiation. Laseropto, 1, 1999, pp.80-83.
- [13] S. Bonss, a. Richter, E. Beyer: welding hardening and cladding using high power diode lasers. Laseropto, 1, 1999, pp.84-87.
- [14] E. Schubert, et. al.: High power diode lasers in surface and joining technology. Laseropto 31(10), 1999.
- [15] S. Hierl: Diodenlaser in der Praxis: Euro Laser, 6, 2001, pp.52-59.
- [16] M.E. Marince, R.P. Martukanitz, J.M. Haake, C.M. Cook: Investigation of a direct diode laser for manufacturing application. LIA. Vol. 87, ICALEO'99, 1999, pp.A207-216.
- [17] N. Abe, R. Higashino, M. Tsukamoto: Material processing characteristics of 2kW class high power density direct diode laser system. LIA. Vol. 87, ICALEO'99, 1999, pp.A236-244.
- [18] W. Schulz, R. Poprawe: Manufacturing with novel high power diode lasers. IEEE, J. of selected topics in QE, 2000.
- [19] S. Bonss, B. Brenner, E. Beyer: Innovation in laser hybrid technology. Laser Solutions, Vol. 16, 1(Jan.), 2001.
- [20] G. Reinhart, J. Haertl C. Lehner: Laser beam welding with hybrid laser system. LIA. Vol. 89, ICALEO'00, 2000, pp. C81-90.
- [21] H. Herfurth, B. Ehlers, S. Heinemann, D. Haensch: New approaches in plastic welding with diode lasers. LIA. Vol. 87, ICALEO'99, 1999, pp.B48-56.
- [22] U.A. Russek, G. Otto, M. Poggel: Automatisiertes Fügen von Kunststoffen mit Hochleistung-Diodenlasern. Sonderdruck aus Laser Praxis 1, 2001.
- [23] H. Putz, D. Haensch, H.-G. Treusch: Diode lasers and plastics-an ideal combination, Laseropto 31(1), 1999.
- [24] Erlanger Lasertechnik GmbH: Catalogue, 2001.