

5. 레이저 용접기술의 개요와 산업 적용 현황

자동차, 철강, 전자 관련 산업 수요 커 부품산업 다양화, 정밀도에 대처가능

레이저 용접은 매우 작은 점으로 집중된 높은 밀도의 에너지로 재료를 용융시키는 용접방법으로, 좁고 깊은 용접부를 얻을 수 있으며 출력만 충분하면 단 1회의 용접으로도 상당히 깊은 용접부를 쉽게 얻는다는 장점이 있다. 레이저 용접의 원리와 특징, 레이저 용접 공정 변수, 레이저 용접공정의 관리, 산업현장에서의 레이저 용접기술 적용 현황을 알아본다.

글: 김기철 박사/포항산업과학연구원

1. 서언

물리광학의 결정체로 불리는 레이저가 출현한 이래 많은 종류의 레이저 발전기들이 개발되고 있다. 그러나 재료의 가공이라는 관점에서 보면 CO₂ 레이저와 Nd:YAG 레이저가 산업적으로 양대 산맥을 이루고 있다. 최근에는 반도체 레이저도 출력과 빔 품질이 향상되어 생산 현장의 투입이 부분적으로 보고되고 있으므로 기대해 볼 만하다.

레이저 가공은 이른바 첨단 가공기술이며 철강과 자동차를 포함한 중공업 분야는 물론 전자 산업에서 결코 제외될 수 없는 위치를 차지하고 있다.⁽¹⁻⁹⁾ 이와 같이 레이저 가공기술이 산업의 중심에 오게 된 것은 레이저 발전기의 대출력화와 소형화의 달성, 로봇 등 주변 장치 및 소요부품의 공급 여건이 성숙된 것과 무관하지 않다. 또 시장동향을 살펴 볼 때 고품위 제품을 요구하고 다양한 기능과 독특한 디자인을 선호하는 수요 패턴의 변화도 레이저 가공의 확대를 가속시켰다. 재료 가공용 레이저로 대표되는 CO₂ 레이저는 1960년대 초 개발되어 급속히 상용화하였는데 현재는 연속파 45kW급 레이저가 제철소와

파이프 제조 현장에서 가동 중에 있다. 한편 10kW 전후의 고출력 레이저들은 자동차 제조라인에서 가공 기기로서의 자리를 굳히고 있다.

우리 나라의 경우도 레이저 가공 기술을 이미 1980년대 중반부터 산업적 활용을 시도하였다. 그러나 대량 생산체제와 연계된 활용 기술 및 레이저 용접의 깊이 있는 연구가 체계적으로 이루어진 것은 비교적 최근의 일이다. 공식적으로 발표된 자료는 없지만 우리 나라에서 가동 중인 가공용 레이저 수 1,000대를 넘을 것으로 추정하고 있으며 대부분의 경우는 낮은 출력의 연속파 또는 펄스레이저 장치이다. 연속파로서 kW급의 CO₂ 레이저는 제철소의 연속라인 코일용접과 tailored blank 제조를 위한 용접공정에 상업 적용되고 있으며 job shop에서도 수 100대의 가공기가 사용되고 있는데 이 경우는 대부분 절단장치인 것으로 나타나 있다.⁽¹⁰⁾

한편 고출력 Nd:YAG 레이저는 광파이버를 사용할 수 있기 때문에 자동화 측면에서 큰 장점이 있으므로 활용 범위가 급속히 확산되는 경향이 있으며 연속파 6kW급 발전기가 생산공정에 투입되고 있다. 우리 나라에서도 자동차사를 중심으로 4kW급 Nd:YAG 레이저 용접 장치가 최근

여러 대 설치 및 가동 중에 있으며 현재 양호한 결과를 얻고 있는 것으로 알려지고 있다.⁽¹¹⁾

여기에서는 이상과 같이 생산 현장에서 빼놓을 수 없는 레이저 용접기술에 관하여 개략적 사항을 해설함으로써 용접기술의 이해를 돕고자 한다.

2. 레이저 용접의 원리와 특징

레이저 용접은 매우 작은 점으로 집중된 높은 밀도의 에너지로 재료를 용융시키는 용접방법이다.⁽²⁾ 용접과정에서 레이저 집중광은 용접될 재료의 표면에 도달하여 대부분 표면반사로 손실되지만 소량의 흡수 에너지는 재료를 급속하게 가열하여 고온의 금속 증기와 이온(레이저 플라즈마)을 생성시킨다. CO₂ 레이저용접에서 이와 같은 플라즈마는 용접 초기에 레이저 에너지의 흡수를 돕지만 점차 용접 에너지의 이용효율에 부정적인 역할을 한다.

용접과정에서 레이저 집중광이 소정의 에너지 밀도를 가지면 재료에는 작은 구멍인 키홀(keyhole; 철강재료의 CO₂ 레이저 용접에서 키홀 직경은 0.2~1mm 정도로 알려져 있음)을 형성하고 그 내부에는 고온의 금속 증기와 용융금속이 존재한다. 키홀이 깊어지면 레이저광은 그 안에서 여러번 연속적 반사를 일으켜 용접에 활용되는 레이저 에너지 전달효과를 증가시킨다. 레이저빔이 연속 모드로 용접이 진행됨에 따라 키홀이 움직이면 키홀 주위의 용융금속은 표면 장력에 의해 일부 벽면에 부착하고 일부는 중력의 영향으로 키홀 아래에 쌓이면서 응고하여 용접부(bead)를 형성한다.

키홀 현상을 이용하는 레이저 용접은 종래의 아크 용접법과는 다른 용접부 형성 기구를 갖는다. 즉 아크 용접에서는 소재의 용융과 용접부 형성이 열전도에 의하여 이루어지므로 용융 등 온선이 열원 바깥쪽으로 움직인다. 또 소정의 용

입깊이를 얻기 위하여는 많은 에너지를 투입해야 하므로 재료의 용융에 직접 쓰이지 않은 잉여의 에너지는 용접열영향부의 크기를 증가시킨다. 그 결과 아크 용접에서는 용입깊이가 낮고 여러 차례 반복 용접(다층용접)을 실시하여야 하며 용접속도도 매우 느리다. 그러나 키홀 용접은 용접 에너지를 재료에 전달할 때 표면을 기점으로 점진적인 열의 전달이 아니라 재료 두께방향으로 직접 투입하는 형식의 고속 용접법이다.

레이저 용접의 장점을 열거하면 다음과 같다. 즉, 레이저 용접에서는 좁고 깊은 용접부를 얻을 수 있으며 출력만 충분하면 단 1회의 용접으로도 상당히 깊은 용접부를 쉽게 얻는다. 그림 1은 대출력 CO₂ 레이저로 철강재료를 용접한 예이며 판 두께 15mm를 편면 1회 용접으로 접합시킬 수 있음을 보여주고 있다.

이러한 특성은 두꺼운 소재의 용접에서 반드시 필요한 용접 흠의 가공과 용접봉 사용을 배제할 수 있기 때문에 생산성에서 매우 유리하다. 또 레이저 용접법은 적은 에너지로 용접(소입열 용접)이 가능하다. 용접에서 적은 에너지를 사용한다는 것은 용접 후 소재의 변형을 최소화할 수 있다는 의미가 된다. 변형량이 적으면 용접 전

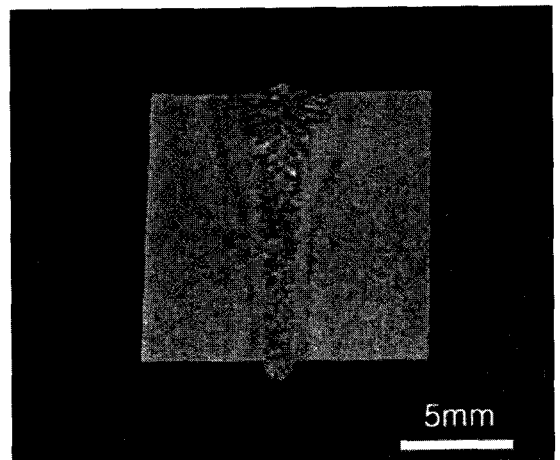


그림 1. 고출력 CO₂ 레이저로 용접된 후판 강재의 용접부 단면

후처리 공정 즉, 용접지그의 규모와 부하를 낮출 수 있고 용접 생산품의 정형을 위한 작업을 생략 하거나 축소할 수 있으므로 생산원가를 대폭 낮출 수 있다. 그림 2는 종래의 용접법과 레이저 용접법의 변형량 차이를 보여주는 것이다. 한편, 금속학적으로는 열영향부의 취화 경감을 포함하여 용접부 근처에서 발생하는 미세조직의 조대화 등을 줄일 수 있다.

레이저 용접법은 자동화된 고속 용접 기법이므로 용접 생산성과 제조공정의 융통성을 부여할 수 있다. 레이저 용접에서는 매 초 수십~수백mm의 속도를 낼 수 있고, 몇 개의 작업대를 하나의 레이저 발진기로 번갈아 가면서 용접을 실시하는 것이 가능하므로 생산 능률이 매우 높다. 레이저 용접법은 이상과 같은 장점이 있음에도 불구하고 제한점 또한 간과할 수 없는 부분이 많다. 즉, 레이저 용접에서는 집속점의 직경이 약 0.5mm 정도이므로 정밀한 접합부의 정렬이 필요하다. 접합부 정렬이 적절하지 않으면 레이저 에너지의 많은 부분이 접합면 사이의 틈을 통해 손실될 수도 있다. 또 레이저 용접에서는 용융 폭이 매우 좁기 때문에 접합선과 레이저 빔을 일치시키는데 세심한 주위가 필요하다.

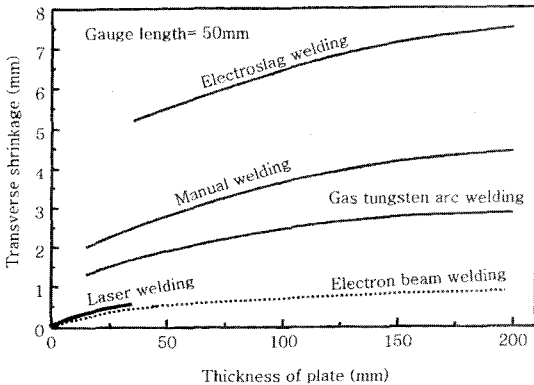


그림 2. 용접 공정별 수축 변형량 비교(Electroslag 용접법은 레이저 용접법에 비하여 약 10배, 수동 용접법은 약4배의 변형을 일으킨다.)

3. 레이저 용접 공정변수

3.1 레이저 출력과 용접속도

레이저 출력은 용입깊이의 한계를 규정하는 중요한 요소로서 근본적으로 소정의 출력을 낼 수 있는 장치를 사용하여야 깊은 용접부를 얻을 수 있다. 레이저 출력과 함께 용접속도는 단위 시간당 용접점이 받는 에너지와 밀접한 관계를 가지고 있으며 속도가 증가하면 용접부 깊이는 낮아지므로 이음상태에 따라 적정한 용접조건을 부여하여야 한다. 그러나 완전용입 조건으로 박판재료를 맞대기 용접할 경우에는 완전용입을 이루는 가장 빠른 용접 속도를 중요하게 다룬다.

3.2 초점위치

초점위치는 (1)재료 표면을 기준으로 하여 기하학적 초점이 두께의 어디에 있는가, 그리고 (2)용접하여야 할 부분에 대하여 초점이 어디에 있는가하는 것으로 나누어진다. (1)은 용융에 필요한 에너지의 효율 및 용접부의 형성과 관계 있는 중요 변수이다. 한편 (2)는 초점위치 벗어남이라는 용어로 표현하기도 하는데 이것은 용접선의 정렬과 관련이 있어서 용접 실시 전에 집속점이 접합하고자 하는 위치에 정확히 오도록 주의 기울이는 것으로 조건 설정이 끝나는 요소이다. 집속 광학계의 F수가 높은 용접 헤드를 사용하면 수렴각과 발산각이 다같이 커지기 때문에 초점위치를 더욱 세심하게 관리하여야 양호한 용접부를 얻을 수 있다.

3.3 보호가스

보호가스는 고온의 용융금속을 산화로부터 보호하는(shielding) 효과와 레이저 용접에서 필연적으로 발생하는 플라즈마를 제거하고 레이저 에너지의 이용효율을 높임으로서 더 깊은 용접부를 얻고자하는 보조가스의 역할을 담당한다. 보호가스는 헬륨, 아르곤 또는 질소를 사용하며

용접부 형성에서는 헬륨이 좋으나 경제성 때문에 아르곤이 더 많이 쓰인다. 레이저 용접에서 플라즈마는 매우 중요한 역할을 하는데 이것은 용접부 형성 기구와도 무관하지 않다. 레이저 용접에서 용접부는 플라즈마에 의하여 형성된다는 학설과 단순한 키홀 기구로 용접이 이루어진다는 학설이 있다. 플라즈마가 용접부를 형성하는데 중요한 역할을 한다고 주장하는 경우는 레이저 빔과 재료간의 에너지 전달이 레이저-플라즈마/플라즈마-재료의 순서로 에너지 전달이 이루어진다는 이론이다. 그러나 플라즈마의 강도가 임계값 이상으로 높아지면 과도한 밀도의 플라즈마가 발생하고 이것은 레이저에 대하여 구름 역할을 하므로 특히 CO₂ 레이저 용접에서는 용접효율이 떨어진다.

4. 레이저 용접공정의 관리

레이저 용접에 의한 자동차 차체부품 제작을 예로 들면 판재는 절단 및 용접된 다음 성형공정을 거쳐 완성품이 된다. 절단공정은 코일 상태의 판재를 절단하여 용접에 알맞도록 준비하는 단계이다. 이와같이 만들어진 재료는 대부분 맞대기용접 상태로 정렬되고 미리 정하여진 용접조건에 맞추어 레이저용접이 실시되고 정품은 성형단계로 이동된다. 이러한 단계에서 소정의 품질기준을 만족하는가에 대하여 공정감시를 시행한다. 제조 공정에서 품질관리 및 공정 감시기술을 간단히 요약하면 다음과 같다.⁽⁸⁾

(1) 판재의 상태, 절단품질 및 맞대기 상태 등을 중심으로 관찰하는 용접전 검사

이 공정은 용접에 투입될 소재의 가공상태를 확인하는 것으로 소재의 이물질 부착여부와 보관 상태를 판단한다. 절단상태는 절단된 판재의 진직도와 절단면 품질이 주요 관점이다. 맞대기 상태는 용접될 판재를 용접장치에 설치하였을 때 정렬도, 틈새의 적정성 및 과도한 단차 등을

감시하는 것이다. 자료에 의하면 맞대기 용접에서 틈새 벌어진 량은 판재두께의 10%미만이 되도록 하는 것이 가장 바람직하다. 과도한 틈새 벌어진 것은 용접 후 비드함몰 등 용접불량을 일으키므로 성형 공정에서 용접비드에 균열이 발생하거나 제품의 피로 수명을 단축시킨다.

(2) 용접조건에의 감시, 용융 풀의 거동과 레이저 플라즈마 관찰을 포함한 용접 공정감시

용접 공정감시는 용접 과정을 감시하는 것으로 용접조건이 적정하게 관리되고 있는지, 용융지의 상태는 소정의 관리 범위에 있는지 또는 플라즈마의 상태 등을 감시한다. 용접조건에는 레이저 출력, 보호가스의 종류와 유량 및 용접속도 등이 있다. 충분한 양의 열에너지가 모재에 전달되어 적절한 용융지를 만드는지 또 이곳의 온도는 충분히 높게 유지되는지를 직접·간접적으로 감시한다.

(3) 용접비드의 형상, 용입깊이 또는 기공의 유무를 판단하는 용접품질 감시

용접품질 감시는 최종 용접 결과를 감시하는 것으로 이때 용접부 및 열영향부의 금속조직변화, 열응력에 의한 균열발생, 기공의 존재 유무, 비드함몰 여부, 불완전 용입 등 기하학적 결함을 판단한다

(4) 용접부의 기계적 특성을 알아보기 위한 용접 품질평가

용접 제품은 궁극적으로 성형하여 차체에 사용되기 때문에 요구되는 기능을 수행하기에 충분한 성능을 가지고 있는지 평가하여야 한다. 따라서 기계적 성질 즉 인장특성과 피로특성 및 성형성 등이 중요한 평가항목이다.

생산 공정에서는 이와 같은 감시방법들을 이용하여 앞 공정에서 얻어진 제품의 품질을 완벽하게 제어함으로써 뒤 공정에서 발생하는 불량을 최소화하여야 한다. 생산라인에서 on-line으로 품질을 관리하는 것보다 전공정의 설계 개선과 제품설계 단계에서 품질을 고려한 off-line 품

질관리법이 더 효과적이다.

품질 감시를 위한 방법에서 내부결함은 방사선 촬영법을 사용할 수 있으며 절단면의 진직도는 3차원 측정기를, 그리고 소재의 외부형상은 CCD 카메라 등을 이용한 광학적 감시방법이 적용된다. 용접 공정은 소리, 빛 또는 전위차를 발생시키므로 이러한 물리량을 계측에 이용하며 적외선 또는 자외선센서, 음향센서 및 플라즈마 센서 등이 복합적으로 이용된다(그림 3 참조).

5. 산업현장의 레이저 용접기술 적용 현황

레이저 용접이 산업현장에 들어온 것이 최근의 일은 아니지만 요즘처럼 전 분야에 걸쳐 중요하게 인식된 때는 없었던 것 같다. 그러한 원인은 전술한 바와 같이 레이저 용접법이 가지는 특성, 즉 고속·고품질 용접이 가능하여 생산성을 획기적으로 높일 수 있을 뿐만 아니라 매우 작은 에너지를 사용하기 때문에 용접부품의 변형이 없고 출력의 제어 특성과 자동화 용이성 등 많은 이점이 있기 때문이다. 우리 나라에서도 소출력 및 펄스 레이저가 전자 및 소형 부품 제조공정에서 매우 널리 사용되고 있으며 연속파 출력의

표 1. 각종산업 분야에서 레이저 용접기술의 적용 예

	용접 기술 적용 분야	비 고
전기/전자공업	<ul style="list-style-type: none"> 소형전지, relay, IC 등의 조립용접 CRT용 전자총의 조립용접 반도체소자의 접합 Mortar, 소형 변압기용 적층core 용접 	<ul style="list-style-type: none"> 소출력 Nd-YAG 레이저 Pulse 레이저
자동차공업	<ul style="list-style-type: none"> 변속기용 복합기어 용접 에어컨용 clutch 용접 차체 조립용접 Heater, motor, yoke 용접 Pulley 용접 Fly wheel cover 용접 Feul tank 용접 Tailored blank 용접 	<ul style="list-style-type: none"> 대출력 CO₂ 레이저 대출력 Nd-YAG 레이저 CW 레이저
철강공업	<ul style="list-style-type: none"> 압연용 coil build-up 용접 조관 라인의 용접 제관 라인의 용접 연연속 압연 라인의 열간slab 용접 	<ul style="list-style-type: none"> 대출력 CO₂ 레이저 대출력 Nd-YAG 레이저 CW 레이저
기계/조선/중공업	<ul style="list-style-type: none"> Bimetal saw 용접 Pipeline 용접 Turbine engine용 열교환기 용접 기계부품의 조립 용접 	<ul style="list-style-type: none"> 대출력 CO₂ 레이저 대출력 Nd-YAG 레이저 CW 레이저 Pulse 레이저
우주/항공	<ul style="list-style-type: none"> 항공기용 honeycomb 재료 용접 극박판 tube, bellows 용접 	<ul style="list-style-type: none"> 대출력 CO₂ 레이저 대출력 Nd-YAG 레이저 CW 레이저 Pulse 레이저

중·대형 레이저 장치는 자동차와 기계공업에서 운용 중에 있다.

표 1은 각종 산업분야에서 레이저 용접기술이 어떻게 쓰이고 있는지를 설명하기 위한 것으로 이 표에서도 알 수 있듯이 전 산업분야에서 다양하게 레이저 용접법이 적용되고 있다.^[13]

5.1 자동차 산업

자동차 산업에서는 각종 환경규제의 강화에 따라 높은 연비 및 공해발생을 최소화할 수 있는 차세대 자동차 개발이 중요 관점이며, 미국의 PNGV(Partnership for a New Generation Vehicles)계획은 2010년까지 연비기준을 지금의 3배로 높일 수 있는 자동차 개발을 목표로 하고 있다. 이러한 목표의 달성은 차체 경량화로 나타났으며 ULSAB(Ultra Light Steel Auto Body) 프로젝트와 같은 범세계적인 기술개발 체제를 만들기에 이르렀다.^[3,4]

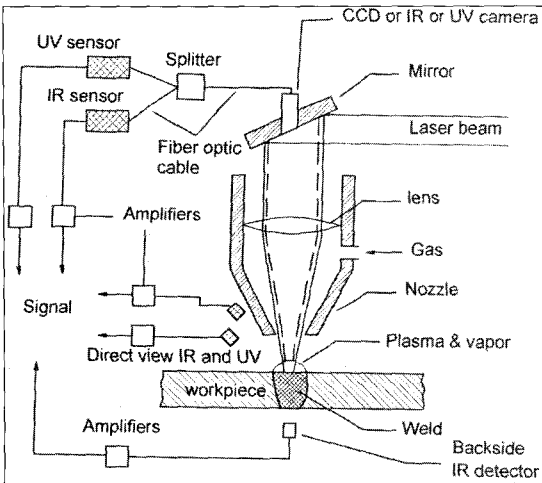


그림 3. 레이저 용접공정 감시 센서의 종류와 변수 계측 위치

레이저 용접기술은 ULSAB프로젝트에서 테일러드 블랭크 제조와 직접 관계가 있다. 테일러드 블랭크 제조공정은 고속 및 고품위 용접기술이 핵심이므로 전세계 자동차사와 차체부품 공급자가 가장 중요시하는 용접 기술이다. 우리나라에서도 일부 자동차사는 이미 이 기술과 조립 공정 레이저 용접법을 사용한 승용차를 제조하고 있으며[11] 다른 회사들도 레이저 용접 기술을 도입하였거나 계획 중에 있다.

5.2 철강, 조선 및 기계공업

자동차는 박판강재로 이루어져 있으나 철강, 조선 및 기계공업에서는 그 보다는 두꺼운 재료를 사용하는 경우가 훨씬 많다. 따라서 레이저 용접장치의 출력이 커야하고 비교적 보수적인 철강과 조선 관련기술분야에서는 안전성이 상대적으로 중요하므로 레이저 용접의 적용 시기가 다소 늦은 감이 있다. 그러나 조선의 경우 유럽을 중심으로 고효율 레이저 용접기술의 적용을 품질 신뢰성과 생산성 향상을 목표로 깊이 있게 검토되고 있다. 조선공업에서 레이저 용접이 흥미를 끄는 것은 무엇보다도 깊은 용입 특성과 용접속도이며 그 결과 용접 공수 절감과 생산성 향상을 꾀할 수 있다는 것이다. 그림 4는 두꺼운 강재를 맞대기 용접할 경우와 T-이음에서 종래의 용접법으로는 여러 번 반복 용접을 실시하여야 하지만 레이저를 사용함으로써 한 번 용접으로 작업을 끝낼 수 있음을 보여주는 설명도이다.

레이저 용접 적용 예를 들면, 이탈리아의 Finca ntieri사는 두께 5~20mm 및 길이 1,600mm의 부재를 맞대기 용접하는 장치를 개발하여 변형의 최소화와 기존의 아크용접법 대비 4배의 생산성을 올렸다는 보고를 하고 있다. 또 독일의 Meyer Werft사는 레이저 용접 적용을 위한 설계기술 개발로 우수한 강성과 원가의 저감을 달성하였다. 한편 레이저 용접장치를 단순히 용접에만 사용하지 않고 마킹, 절단 및 열처리 공정

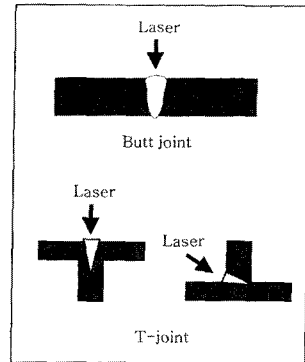


그림 4 후판 강재의 용접 이음 형상과 레이저 에너지 투입 위치

에 도입함으로써 장치의 활용도를 높이는 시도도 있다. 덴마크의 Odense 조선소는 그러한 방법을 실용화한 예를 가지고 있으며 이 곳에서는 레이저를 페인트 제거용으로 활용하는 기술도 개발하였다.^[7]

제철소 생산 라인의 레이저 용접 적용은 일본이 가장 앞선 기술을 보유하고 있다. 이미 1980년대 초부터 열연 코일의 용접법을 적용하고 있으며 현재는 출력 5kW~1kW급 CO₂ 레이저 용접장치가 여러 대 운용 중에 있다. 생산성 향상을 위하여 제철 공정은 연속생산 기술이 쓰이고 있는데 최근에는 고온의 슬라브를 직접 용접한 다음 압연하는 연연속 기술을 적용하여 생산성 향상과 에너지 효율을 크게 높이고 있다. 이러한 목적의 레이저 용접기는 연속과 45kW급 초대형 CO₂ 레이저 발전기이며 그보다 낮은 25kW급 레이저 용접 장치는 강판 제조 공정에 사용되고 있다.^[13]

5.3 전자 및 기타 산업

전자 산업에서 레이저 용접은 상업 적용이 가장 먼저 이루어진 분야라고 할 수 있다. 대표적인 적용 예는 각종 전극 용접 및 소자 케이스 봉합 용접이며 CRT용 전자총 제조공정 용접도 빼놓을 수 없다.^[13,14] 전자총은 30여개의 작은 부품

으로 이루어져 있으며 130여점을 용접하여야 하는데 생산공정에서 과거의 저항 점용접 대신 레이저 용접을 실시하여 전자총의 성능 개선과 생산성을 높일 수 있다.

6. 결론

제품을 생산하기 위하여는 어떤 형태의 용접 이든 용접기술이 이용되어야 한다. 이 때 레이저 용접법을 사용할 것인가 아니면 기존의 용접법을 사용할 것인가에 대하여는 제품개발의 계획 단계에서 결정하는 것이 바람직하다. 그것은 용접 제품의 최종품질, 성능 및 장래 시장요구의 방향도 예측된 설계가 이루어져야하기 때문이다.

한편, 레이저 용접기술의 가장 큰 수요처는 자동차, 철강 및 전자 관련 산업일 것이다. 앞의 두 분야는 대용량의 연속과 CO₂ 및 Nd:YAG 레이저를 사용하고 전자산업에서는 소형 또는 펄스 레이저가 주종을 이룬다.

레이저 용접은 여타의 전기 에너지를 쓰는 용접기술에 비하여 매우 청정한 열원 이용기술이다. 또 가공기기의 자동화를 구현할 수 있기 때문에 구조적으로 경쟁력 있는 고품위 제품을 얻을 수 있다. 레이저 용접기술을 적용하면 부품산업의 다양화와 정밀도 요구에 능동적으로 대처할 수 있으며 종래의 사고로는 상상하기 어려울 정도의 장점과 경제적 가치를 내포하고 있다. 그러나 레이저 용접기를 보유하고 있다는 사실로 문제가 풀리는 것은 아니다. 첨단기기는 그 장치에 걸맞는 수준의 이용기술과 문화가 뒤따라야 하며 그렇지 않을 경우 소정의 정밀도와 품질을 얻을 수 없다.

우리 나라에도 다양한 출력과 성능의 레이저 용접기가 보급되었으며 앞으로도 많은 수의 레이저 장치를 사용하지 않으면 안될 것이다. 경쟁력은 비록 작은 제품이라고 하더라도 그 부품의

제작에 임하는 작업자의 세심한 주의와 기술개발 노력에서 비롯된다. 그리고 기술개발에 대한 경영층의 의지와 지원이 충분할 때 제품의 품질과 생산성은 한층 더 높아질 것이다.

참고문헌

1. Rudolf Corrodi: European Tailored Blank Market-A Challenge For Competitors And Suppliers For New Applications, IBEC 96, Materials & Body Testing, (1996), p 110
2. H. Matsui: State of the Art and Subjects of Reducing Automobile Weight, 6th International Welding Symposium of JWS (1996), 287
3. P. T. Peterson: Ultra Light Steel Auto Projects: ULSAB, ULSAC, ULSAS and the Way Forward After ULSAB, Iron & Steelmaker, ISS, Nov.(1998), 43
4. John Martin: Laser Welding of Tailored Blanks, A Global Perspective, Automated Welding Systems Incorporated, (1999)
5. 김기철, 이기호, 이목영: 테일러드블랭크용 박판강재의 레이저 용접성(I), 대한용접학회지 16-1 (1998), 77
6. 김기철, 이기호, 이목영: 테일러드블랭크용 박판강재의 레이저 용접성(II), 대한용접학회지 16-2(1998), 143
7. 이종봉, 박희동: Tailored Blank의 적용 현황과 전망, 대한용접학회지, 18-3 (2000), 5
8. 이경돈: 테일러드 블랭크 공정의 품질관리와 감시 시스템, 대한용접학회지, 18-3 (2000), 32
9. 이종봉, 박희동: 조선분야의 레이저 용접기술, 제1회 고에너지연구위원회 자료 (2000), 88
10. 레이저기술 편집부: 국내 레이저 임가공업체 현황 및 전망, 월간레이저기술, 46 (1997), 51
11. 장인성, 서보신, 권태용: Nd:YAG 레이저를 이용한 차체용접, 제2회 고에너지연구위원회 자료(2000), 9
12. 대한용접학회편: 용접·집합편람, 대한용접학회 (1998), 607
13. 김기철, M. Kutsuna: 소재 및 제조업 분야에서 레이저 가공기술의 적용, 대한금속학회회보, 12-2 (1999), 237
14. 하승협, 조상명, 양우영, 김병도, 김종도: 브라운관 전자총 부품의 펄스 Nd:YAG 레이저 용접성, 대한용접학회 추계학술발표대회 개요집 36 (2000), 268