

일본에서의 최근 레이저 응용기술 동향

김 종 도 · 우에노 타모쯔

Recent Topics on Laser Processing in Japan

Jong-Do Kim and Ueno Tamotsu

1. 서 론

레이저의 발전은 1960년 미국 퓨즈사의 Theodore · H · Maiman이 루비를 매체로 사용하여 실현되었다. 그 후에 많은 레이저 발전기가 개발되어 각종 산업계에 사용되고 있으며, 특히 유럽을 시작으로 자동차업계의 부품 가공에 널리 적용되고 있다. 레이저는 기존의 천공이나 방전가공 및 용접에서 스폿용접이나 아크용접 등의 타 가공법의 대체 가공법으로써 이용되어 왔으나, 최근에는 레이저 기술을 사용하여 타 가공법으로는 만들 수 없는 제품 생산을 가능하게 하였다. 이처럼 레이저 응용기술은 산업계의 필수적인 가공법으로써 자리매김하고 있다.

여기에서는 자동차와 관련하여 사용되고 있는 레이저 가공의 사례를 몇 가지 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 접합기술

자동차 업계에서 널리 사용되고 있는 가공방법 중 하나는 테일러드 블랭크(tailored blank) 용접이다. 바디의 소재가 되는 강판재료를, 차체가 요구하는 기능을 효과적으로 살리면서 판 두께가 다른 재료나 재질, 도금품 등 여러 가지를 조합하여 용접을 실시하고 프레스 성형하는 것이다. 외관상으로는 1장의 판이지만 기능을 살린 소재로 변화되어 있다. 특징으로는 부분적으로 성질이 다른 재료를 사용할 수 있으며 재료의 경량화가 가능하다는 것이다. 경량화함으로써 연비도 향상 되어 환경에도 공헌하고 있다. 이 용접에는 대부분 CO₂ 레이저가 적용되어 왔으나, 고속화를 목표로 최근에는 고출력의 연속발전 YAG레이저가 사용되고 있다. 또한 재료적인 면에서도 얇고 강도가 높은 고장력강판이 자

동차의 바디에 적용되면서, 기존의 용접법으로는 많은 문제점이 도출됨에 따라 레이저 용접법이 필수적인 가공기술이 되었다.

테일러드 블랭크 용접을 실시하고 프레스 가공한 성형품을 차체 형상으로 조합하여 스폿용접 등을 행하여 왔으나, 최근에는 레이저에 의한 스티치(stitch) 용접이 적용되고 있다. 장점으로는 점(point)으로 접합하는 스폿용접과는 달리 선(line) 용접이기 때문에 바디의 강성이 향상되었다. 또한 스폿용접의 경우 용접 토치가 재료의 전면과 후면을 눌러 접합하는 방식이기 때문에, 용접하는 부분의 형상이 한정되어 있다. 반면에 레이저 용접의 경우 한쪽 면에서의 용접이 가능하기 때문에 용접 토치의 형상에 좌우되지 않고 차체의 형상이 고려되므로 디자인적으로도 자유도가 향상되었다.

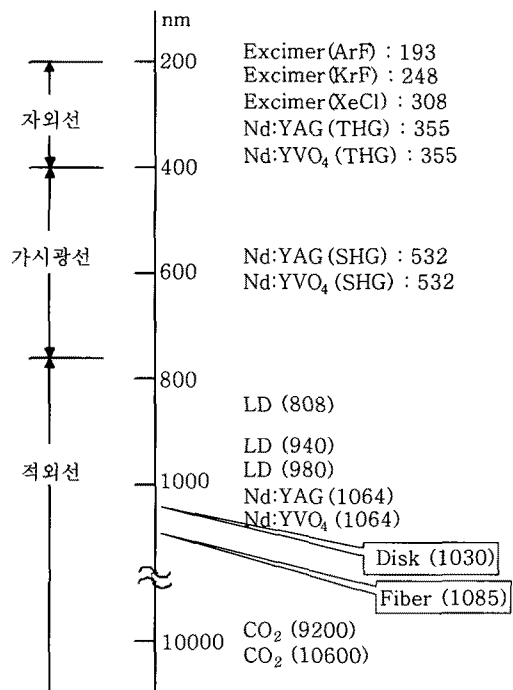


그림 1 산업계에서 사용되고 있는 주요 레이저

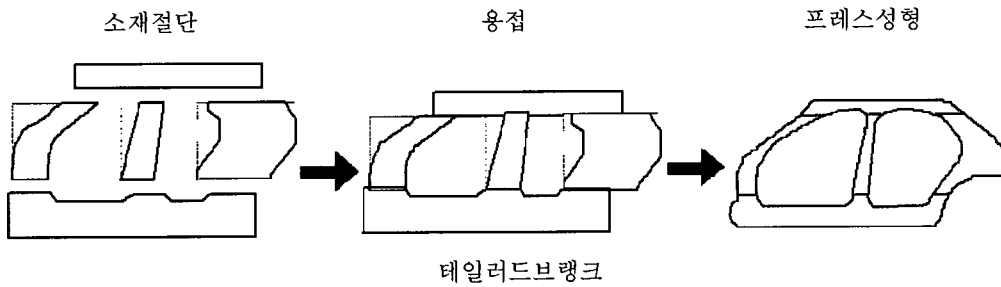


그림 2 테일라드 블랭크를 사이드패널 외부에 적용한 예

2.1.1 고속용접

최근의 기술 가운데 유럽의 자동차 메이커에서는 앞서 기술한 스티치 용접의 고속화를 통해 생산시간을 단축하였다. 그 방법으로는 아래의 2가지 방법이 있다.

(1) CO₂ 레이저

첫 번째는 CO₂ 레이저와 스캐너(1장 혹은 2장의 반사거울을 고속으로 각도를 변화하여 광을 조사하는 광학계)를 이용해서 점프속도(스티치 용접을 하지 않는 이동시간)를 고속으로 행하는 것이다. 이 방법에 의해 로봇으로 용접부분 이외를 이동하는 시간이 거의 0에 가깝게 되었다. 바디의 사이드패널부품의 용접시간은 5분의 1정도로 단축되었다. 이 방법은 광학계 등 시스템의 구성에 의해 광범위하게 용접이 가능한 타입이나 물체를 회전시키는 인덱스 등과의 조합으로 다양한 형상의 가공이 가능하게 되었다. 주로 차체에 사용되는 각 파트 부품의 용접 등에 사용되고 있다.

(2) YAG 레이저

다른 하나의 방법은 YAG 레이저와 스캐너 헤드의 조합이다. 이는 YAG 레이저의 특징인 레이저광 전송용 화이버를 사용하는 것으로, 다관절 로봇의 선단에 스캐너 헤드를 붙여 로봇이 바디 등의 입체형상을 이동

하면서 고속 용접하는 것이다. 로봇의 고속 이동에 따라 수반되는 궤적정도가 열악한 부분을, 스캐너 헤드가 위치보정을 하면서 용접하는 메이커도 있다.

또한 이 방식에서는 최근 주목되고 있는 고출력 디스크 레이저나 화이버 레이저와의 조합이 발표되고 있다. 디스크 레이저나 화이버 레이저의 경우 고출력에서도 광을 전송하는 화이버의 직경이 0.2mm정도이기 때문에 장초점의 집광광학계를 사용할 수 있기 때문이다.

이와 같은 용접을 행할 수 있는 것은 CO₂ 레이저나 YAG 레이저(디스크), 그리고 화이버 레이저의 빔 집광능력이 향상되었기 때문이다.

지금까지의 고출력 CO₂ 레이저에서는 장초점의 집광광학계로 집광하면 가공점에서 에너지 밀도가 저하하였다. 그 때문에 반사율이 높은 금속재료에 조사한 경우, 레이저의 에너지가 금속재료에 흡수되지 못하고 반사되어 재료가 용융되지 못했다. 최근의 CO₂ 레이저는 초점거리가 1~1.5m정도의 긴 장초점 집광광학계에서도 작은 스폿으로 집광할 수 있는 고출력의 레이저가 개발되어 시판되었다. 그로 인해 장초점의 광학계를 사용하여 광범위한 용접이 가능하게 되었다.

또한 YAG 레이저는 여기원인 램프가 LD로 되면서 고체인 YAG 결정에 가해지는 불필요한 에너지가 없어서 YAG 레이저의 결정인 고체의 열팽창이 줄어들었다.

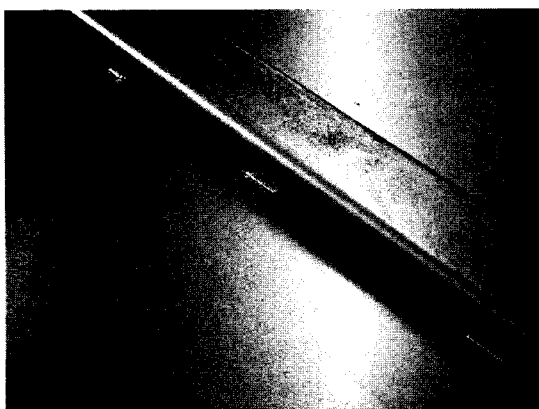


Photo: Addmetal, NL

그림 3 레이저를 이용한 스티치(stitch) 용접부

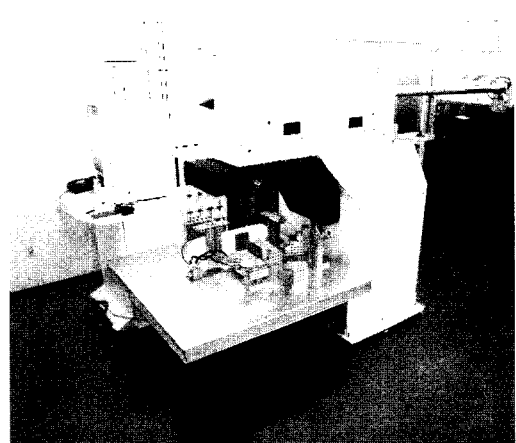


그림 4 CO₂ 레이저와 스캐너를 이용한 용접시스템



그림 5 YAG 레이저와 스캐너를 이용한 용접시스템

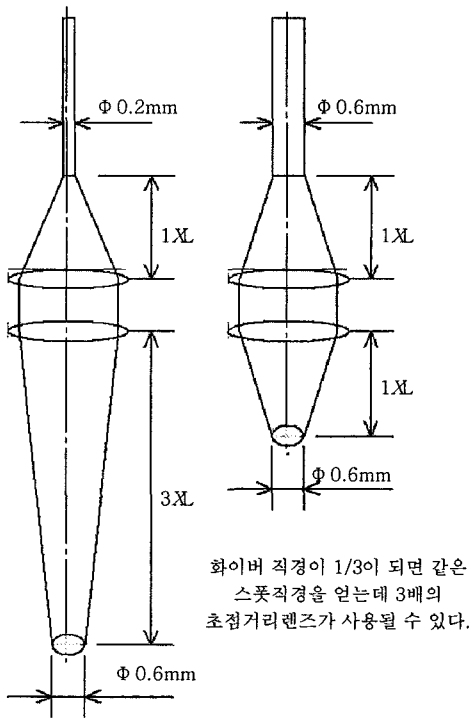


그림 6 화이버 직경과 초점거리의 관계

또한 최근에는 YAG 레이저의 결정 형상이 로드 타입에서 디스크 타입으로 바뀌면서 고체 결정에 가하는 열 에너지가 균일하게 냉각될 수 있게 되어 확산각이 안정한 광을 얻을 수 있게 되었다. 그리하여 레이저광을 전송하는 화이버 직경이 좁아지고, 장초점의 광학계에서도 작은 스폿이 얻어지게 되었다. 최근의 수 kW급 고

출력 YAG 레이저나 화이버 레이저는 $\Phi 0.2\text{mm}$ 의 화이버로 전송이 가능하게 되었다(이전의 화이버 직경은 0.6mm가 주류였다).

2.1.2 레이저 브레이징

차체의 바디를 접합하는 기술로써 최근 레이저 브레이징이 채택되고 있다. 레이저 브레이징은 용점이 낮은 동(copper) 계열의 와이어를 사용하여 프레스 성형한 3차원 형상의 물품을 접합하는데, 화이버로 광을 전송할 수 있는 YAG 레이저나 반도체 레이저 등이 사용된다.

- 레이저 브레이징은 저용점의 실리콘 브론즈 등의 와이어를 접합부분에 공급하면서 에너지 밀도가 낮은 레이저를 조사하는 것으로, 바디 강판이 가열되고 공급한 와이어가 녹아 접합된다. 레이저 용접처럼 강판 자체를 녹여 접합하는 방법과는 다르게, 용점이 낮은 와이어를 녹여 접합시키는 공법이기 때문에 외관적으로도 미려하다. 따라서 외장부 등에도 사용되고 있다. 그 외에 재료끼리 녹여 용접하는 공법과 달리 몇 가지의 장점을 생각할 수 있다.
- 와이어를 공급하기 때문에 다소 틈이 있거나 판금의 구부러진 R부분 등에도 사용할 수 있다.
- 와이어를 공급하기 때문에 접합부분의 면적이 크게 되어 인장강도가 소재 강판보다 향상된다.
- 강판 자체를 녹이지 않기 때문에 이종 금속재료에서도 적용 가능한 경우가 있다.

단점으로는

- 와이어를 공급하기 때문에 생산비용이 높아진다.
- 레이저 브레이징 할 때, 와이어와 레이저광의 위치 관계가 중요하게 된다. 특히 사용되는 부품이 3차원 구조의 제품이 되기 때문에 좌우상하의 위치를 맞추어 보정해야 한다. 이를 위해 자동적으로 와이어의 위치를 보정하는 가공 헤드 등도 사용되고 있다. 이 헤드의 특징은 3차원 로봇으로 추종할 수 없는,

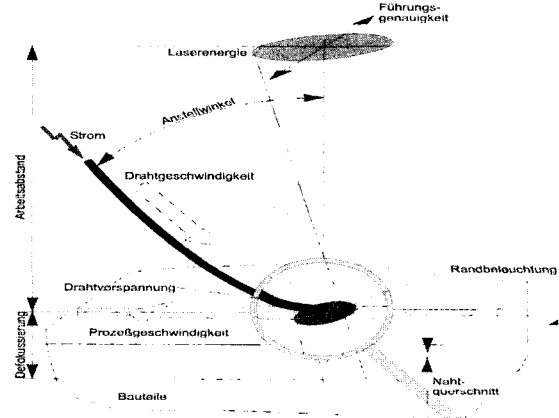
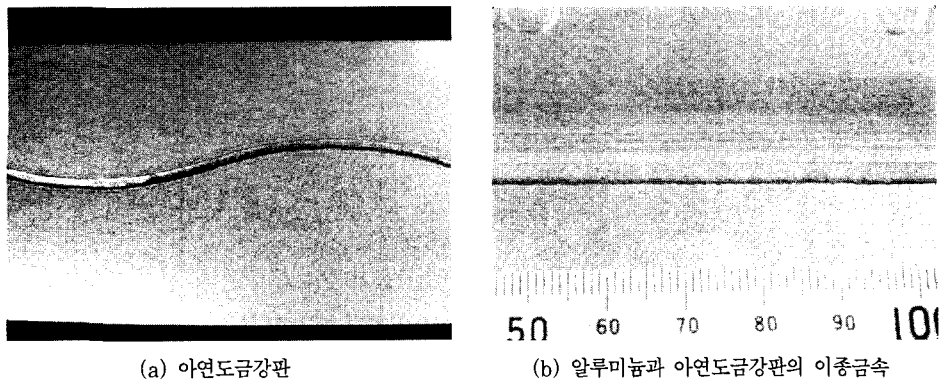


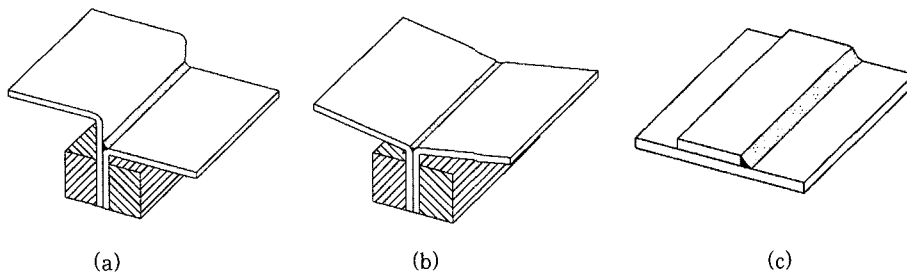
그림 7 레이저 브레이징 모식도



(a) 아연도금강판

(b) 알루미늄과 아연도금강판의 이중금속

그림 8 레이저 브레이징의 적용사례



(a)

(b)

(c)

그림 9 다양한 형상의 레이저 브레이징의 적용사례

접합부분의 위치결정이나 레이저 가공에서 중요한 초점 거리의 위치를 가공헤드가 자동적으로 조정하는 것이다. 특히, 프레스 가공한 제품은 형상이 일정하지 않기 때문에 불량품의 저감에도 필요불가결한 기술의 하나이다.

그래서 이와 같은 헤드를 몇 개 소개하고자 한다.

유럽 자동차 메이커의 생산라인에 사용하기 위해 개발된 레이저 가공 헤드로서 브레이징용 헤드뿐만 아니라 용접용 헤드 등도 있다. 이들 헤드의 주된 특징은 아래와 같다.

- 바디 등의 용접에는 겹치기 용접이 많다. 따라서 간극이 없도록 롤러 등으로 가압하면서 용접한다. 또한 아연도금강판의 용접에서는 역으로 간극을 두어 아연증기가 빠져 나갈 수 있는 틈을 만들어야 하기 때문에, 간극을 만들면서 가압하는 더블 롤러 타입

등도 있다. 또한 한쪽 면에서 눌러 이동방향의 자유도가 있는 핑거타입도 있다.

- 용접시에는 가공점에서 많은 스파터가 발생하게 된다. 스파터로부터 집광광학계를 보호하기 위해 크로스 제트로 스파터를 붙여 날린다. 또한 YAG 레이

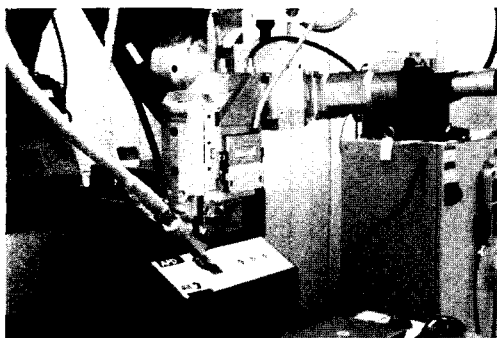


그림 10 레이저 브레이징 장치

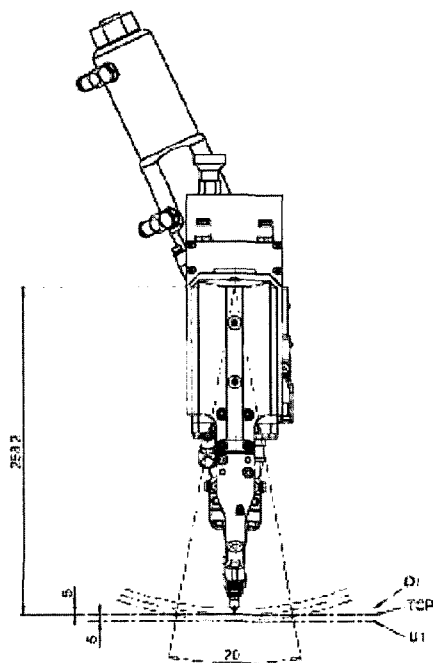


그림 11 레이저브레이징용 가공헤드

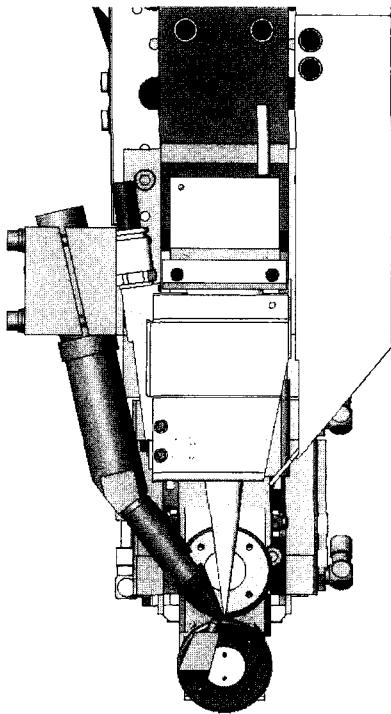


그림 12 더블플러 타입의 용접헤드

저 등에서는 집광광학계를 보호하기 위해 집광광학계와 가공점 사이에 보호글라스가 삽입되어있는데, 보호글라스에 부착된 스패터를 감시하는 센서 등도 시판되고 있다.

- 프레임 등의 용접에 사용하는 경우 강도가 요구된다. 이를 위해 와이어를 녹이면서 용접하는 MIG와 병용해서 사용하는 하이브리드(hybrid) 헤드가 있다.

2.1.3 금속용접이외의 수지 접합

기존에 사용되고 있는 수지재료의 접합방법은 접착제, 열판용착, 고주파용착, 진동용착, 초음파용착 및 볼트 죄임 등이 있는데, 레이저 용착은 이들 접합기술에 비해서 접합부의 간소화, 노즐의 관리, 혼(horn)이나 전극의 관리가 불필요한점 등의 많은 장점이 있다.

기본적으로는 열가소성수지에 대해, 투과측과 흡수측의 수지를 겹쳐 투과측으로부터 1 μ m 파장 영역의 레이저광을 조사하면 겹친 계면으로 에너지가 흡수되고 재료가 용융되어 접합되는 공정이다.

부품 형상을 작게 할 수 있는 것과 접착제 등의 이종 재료가 섞이지 않는 등의 이점이 있다. 따라서 최근에는 수지재료를 많이 사용하는 자동차부품 등에 적용되고 있다.

2.2 천공기술

최근 연비향상을 목적으로 연료를 분사하는 인젝터

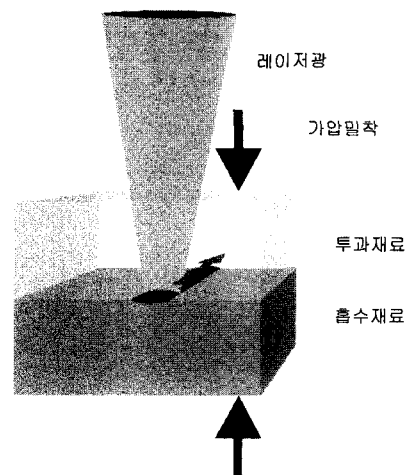


그림 13 레이저를 이용한 수지재료의 접합 모식도

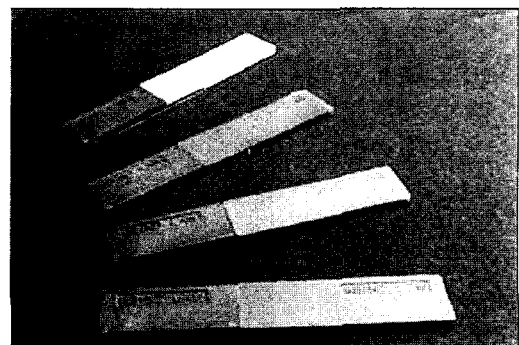


그림 14 수지재료의 레이저 접합사례

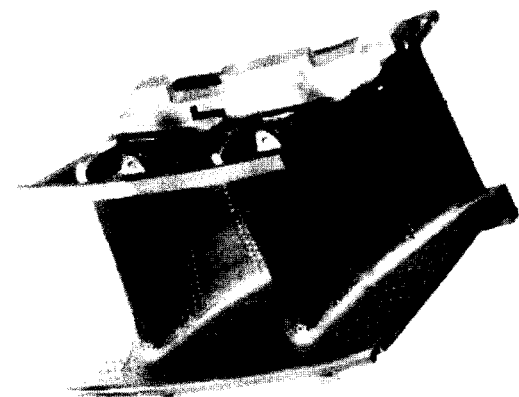


그림 15 레이저 천공기술의 적용사례

노즐의 천공형상 등에 관한 연구가 진행되고 있다. 가공방법도 일반적으로 방전가공이 이루어지고 전극이 불필요한 레이저를 사용하여 천공가공하는 기술도 개발되고 있다.

일반적인 레이저 천공가공은 항공기나 발전소 터빈 등의 클링용 홀가공이다. 여기에는 높은 침투 출력의 펄스 YAG 레이저가 사용되고 있다. 펄스 YAG 레이저는

ms(millisecond) 단위로 레이저가 조사되며, 금속이 용융되고 산소 등의 어시스트 가스 압력에 의해 용융금속을 비산시켜 천공가공이 된다. 기본적으로는 가스용단(절단) 등의 작용과 동일하나 연속적으로 열이 공급되는 가스절단과 달리 ms의 짧은 시간에 높은 에너지의 펄스가 조사되기 때문에 주변으로의 열영향이 적다. 단, 녹은 금속을 가스의 흐름으로 날려 버리기 때문에 용융 금속이 구멍의 내면에 다시 부착되어 미세한 구멍형상의 제어가 되지 않는다.

최근 개발되고 있는 천공가공은 Q-스위치 펄스의 YAG 레이저 등이 사용되고 있다. Q-스위치 펄스 레이저에서

는 ms 보다도 짧은 ns(nanosecond)의 펄스가 조사된다. 극히 짧은 시간에 매우 높은 침투출력의 레이저가 조사되기 때문에, 소재인 금속이 순간적으로 비점을 넘고 급속응고되어 소재로의 재부착이 일어나기 어렵다. 따라서 레이저의 조사 위치나 시간을 제어하는 것으로 구멍의 형상을 컨트롤할 수 있다. 인젝터는 방전가공에서 얻어지는 높은 정도(precision)의 천공기술이 요구된다. 그러므로 레이저 가공에서는 Q-스위치 레이저 기술과 광을 제어하는 광학계의 기술에 의해 가능하게 되었다. 최근에는 광을 제어하는 기술연구에 의해 역 테이퍼(taper)의 천공가공까지 가능해 졌다.

이처럼 형상을 제어하는 가공기술이 개발되었기 때문에 미세한 3D가공도 레이저로 가능해 졌다. 동일한 Q-스위치 레이저와 광을 자유로이 제어할 수 있는 스캐너 광학계의 조합으로 3차원 CAD 등에서 제작한 형상을 레이저로 금속에 직접 가공할 수 있게 되었다. 방전가공 등으로 제작하는 경우에는 전극을 만들어야 하나, 레이저 가공에서는 그대로 가공이 가능하기 때문에 시간이 단축되는 등의 이점이 있으므로 미세한 금형가공에 사용되고 있다. 최근에는 면조도를 양호하게 하기 위해서 1펄스 당 에너지가 큰 YAG 레이저로부터 펄스 에너지가 작은 YVO₄ 레이저로 바뀌어가고 있다. YVO₄에서는 1펄스의 에너지는 작지만 반복 주파수가 YAG 레이저 이상으로 높기 때문에 가공속도의 변화는 거의 없다.

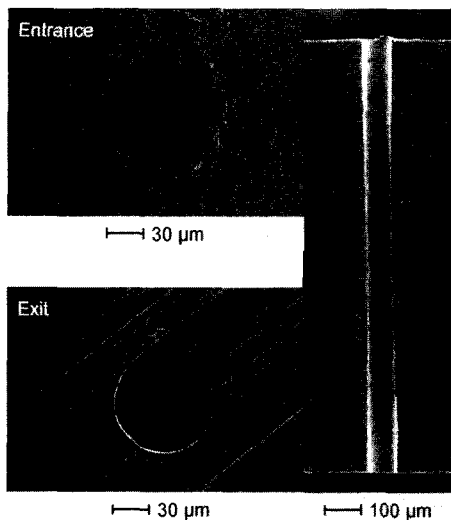


그림 16 레이저 천공 가공된 홀의 입구와 출구형상

2.3 호닝기술

Q-스위치 레이저를 사용한 예로는 레이저 호닝(laser honing)이 있다. 일반적인 호닝가공은 엔진의 실린더

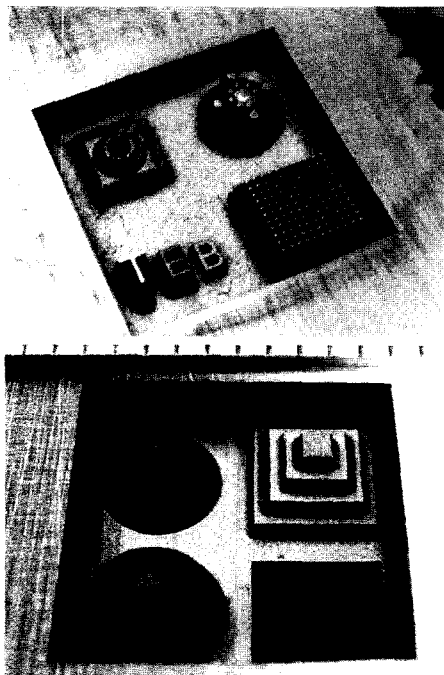


그림 17 3D 가공의 적용사례

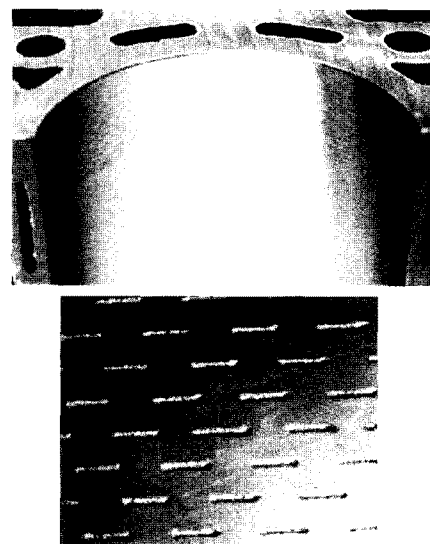


그림 18 Q-스위치 레이저를 이용한 호닝가공 사례



그림 19 Con-rod의 레이저 홈가공

내면을, 외주상에 수개의 지석(abrasive stick)을 붙인 원통의 공구가 회전 왕복 운동하는 것으로 정밀한 마무리가 이루어진다. 이 때 만들어진 미세한 망상의 홈에 윤활유가 잔류하기 때문에 피스톤링의 마찰저항을 줄이고 오일 소비량을 감소시킨다. 레이저 가공에서는 그 미세한 망상의 선(홈) 모양을 여러 가지의 형상으로 제어할 수 있기 때문에 보다 윤활유의 유지능력을 상승시킬 수 있다. 최근의 개발에서는 엑시머 레이저를 사용해서 보다 치밀한 홈을 만들어 윤활유의 소비량을 극단적으로 저감시킨 사례도 발표되었다.

2.4 홈 가공기술

콘 로드(con-rod) 베어링 캡 결합부분의 제작에는 위치를 맞추거나 중량을 균일화하는 등 많은 공정을 만족시켜서 제작하고 있다. 따라서 레이저 가공을 적용함으로써 공정이 짧아지고 생산비용을 저감할 수 있게 되었다. 제작방법으로는 중량을 고르게 한 콘 로드 내면에 높은 침투 출력의 펄스 YAG 레이저로 홈 가공을 한다. 홈은 균열이 되어 하나의 부품이 2개로 할단된다. 펄스 YAG 레이저를 사용함으로써 재료에는 거의 입열이 없는 상태로 가공이 이루어지며, 절단부가 없는 상태에서 분리되기 때문에 처음의 중량이 그대로 유지된다. 또한 할단되어 나누어진 2개의 부품은 나사로 조여서 다시 1개의 부품이 된다.

3. 결 론

최근의 YAG 레이저는 발전기에 투입되는 전기로부터 레이저 광으로 변환되는 비율이 향상되었다. 이전의 램프여기방식의 YAG 레이저에서는 3%정도 밖에 변환되지 않았던 것이 램프에서 LD여기방식으로 전환되면서 불필요한 에너지 손실이 없어지고, 로드타입에서 디스크타입으로 바뀌는 등의 개선(매체에 도핑하는 재료의 개량)으로 20% 이상의 변환이 가능해졌다. 이에 따라 러닝코스트(running cost)가 내려가고 생산현장에서 사용이 용이해졌다.

또한, 최근 여기용 LD가 고출력화 됨에 따라 구입시의 이니셜코스트(initial cost)의 하강이 일부 메이커로부터 보고되고 있다.

이 때문에 기존의 CO₂ 레이저가 점유하고 있던 분야에 YAG 레이저가 적용됨으로써 단 파장에 의한 재료의 흡수능이 향상되었다. 또한 YAG 레이저는 램프 여기방식에서 LD 여기방식으로 바뀌면서 장시간에 걸쳐서 안정한 레이저출력을 얻을 수 있게 되었다.

이상의 내용에서 설명하였듯이, 레이저 열원은 고가의 입장에서 유용하고도 사용하기 쉽도록 개선되어 나감으로써 보다 많은 가공분야에 적용될 것으로 기대된다.



- 김종도
- 1963년생
- 한국해양대학교
- 레이저용접, 레이저가공현상의 계측과 해석
- e-mail: jdkim@hhu.ac.kr



- 우에노 타모쯔(Ueno Tamotsu)
- 1939년생
- Tosei Electrobeam Co.LTD, Japan
- 레이저 및 전자빔 열원을 이용한 가공
- e-mail : ueno@tosei.co.jp