

# 레이저 용접공정과 밀링공정에 의한 쾌속 금속 시제품 제작

최두선\*, 신보성, 윤경구, 황경현, 박진용, 이종현(한국기계연구원 자동화연구부) 송용익,  
박세형(한국과학기술연구원, CAD/CAM센터)

## Rapid Product Fabrication using Wire Welding with CO<sub>2</sub> Laser Irradiation and Milling Process Technology

D. S. Choi, B. S. Shin, K. K. Yoon, K. H. Whang, J. Y. Park, J. H. Lee(Automation Research Dept., KIMM),  
Y. A. Song, S. H. Park(CAD/CAM Center, KIST)

### ABSTRACT

The Rapid Prototyping and Tooling technology has been developed. However, most commercial ones currently use resins or waxes as the raw materials. These days, the direct metal deposition methods are researched as a true rapid prototyping and tooling technology. A fundamental study on rapid prototyping and tooling with wire welding technology using CO<sub>2</sub> laser radiation was carried out in this paper. The main focus is to develop a simple commercial rapid prototyping and tooling system with the exiting laser welding technology. The process is investigated as a function of laser parameters and process variables. Basic parts were fabricated as out-put and their microstructure, hardness and tensile strength are examined for the reliability. In addition, Its advantages and disadvantages are discussed as a rapid prototyping and tooling system.

**Key Words** : Rapid Prototyping and Tooling, Metal Deposition, Laser Welding, Mild Steel

### 1. 서론

일반적으로 쾌속 조형법은 CAD/CAM, 레이저, 재료, 제어기술 등이 복합된 첨단 가공 기술로서 기존의 절삭가공 방법과는 달리 CAD데이터를 얇은 두께로 절단해 단면형상을 얻은 후 각 단면들을 적층, 원하는 형상을 제작하는 방식이다. 따라서 복잡한 외관 또는 제품의 내관 형상까지도 손쉽게 자동으로 제작할 수 있어 전자제품의 금형은 물론 자동차부품 금형제작 등의 분야에도 폭넓게 이용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 기존에 사용된 쾌속조형 방식이 대부분 비금속 재료를 사용하고 있어 금형을 제작할 경우에는 많은 후가공을 요구하고 있다. 따라서 금속 적층을 통해 직접 제품이나 금형을 생산하려는 기술의 개발에 초점이 모아지고 있다. 금속을 용착시켜 제품을 생산한다는 자체에 있어서 제품으로써 정도를 얻기 힘들고 표면정도도 비교적 좋지 못하므로 이에 필연적으로 후처리가공을 통하여 표면정도와 정밀도를 향상시키는 방법이 연구되고 있다. 이러한 관점에서 볼 때, 본 연구의 공정은

순수한 적층방식이 아니고 적층을 위한 레이저용접 기술과 후처리를 위한 밀링등의 기술을 접목시켜 저비용이고, 실용적인 쾌속조형 장치를 개발하는데 목표를 두고 현재 연구를 수행 중에 있다. 본 연구는 적층식 방법과 기존의 절삭가공 방식을 결합시켜 두 방법의 장점을 살릴 경우 절삭가공으로 제작이 불가능했던 형상들을 제작할 수 있는 동시에 적층식 방법의 최대 단점인 정밀도와 표면조도를 보강할 수 있다.<sup>[1][2]</sup>

따라서 본 논문은 레이저 용접으로 비드 생성시의 최적조건 선정, 선정된 최적조건으로 기본 형상의 제작과 각종 기계적 성질을 테스트하여 궁극적으로 사출성형에 사용될 수 있는 시작 금형을 제작하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 쾌속 금속 조형공정

레이저 빔을 모재 위에 조사하고 동시에 와이어를 레이저 초점에 일정한 속도로 진입을 시켜 용융풀

(MeltPool)을 만들고 X-Y Table을 이송시켜 ILine의 비드(Bead)를 생성한 다음, 그 비드를 다층(Multi Layer)으로 적층하는 방식을 기본으로 하고 있다. 생성된 ILine의 비드를 수평방향으로 오버랩(Overlap)시켜 2차원 평면층(Layer)을 생성하고, 이렇게 형성된 2차원 평면층을 수직방향으로 적층시켜 3차원 형상을 제작하게 된다. 비드 생성 후 또는 2차원 평면층을 생성 후 밀링머신을 이용하여 비드의 윗부분을 절삭가공하게 된다. 이는 적층된 비드 위로 새로운 다른 층이 적층될 때 표면을 편평하게 만들어, 새로운 층을 안정적으로 쌓기 위한 가공 단계이다. 3차원 형상의 적층이 완료가 되면 외부면을 정삭으로 절삭가공하여 완성된 제품을 얻게 된다.

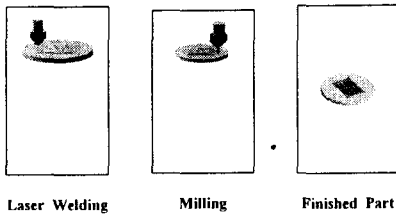


Fig. 1 3D Laser Welding and Milling Process

## 2.2 쾌속 금속조형 장치

실험장치는 CO<sub>2</sub>레이저와 ARC 용접기, 범용 밀링머신, 와이어 피딩(Wire Feeding)장치로 크게 3가지 부분으로 나눌 수 있다. 기존의 범용 밀링머신을 사용하면서 제어장치를 본 연구에 적용할 수 없어 쾌속금속 조형장치에 적합한 PC-NC기반의 통합 제어 장치를 개발하였다. 개발된 통합 제어 장치에서는 5축 동기제어로 레이저 용접과 밀링공정, 와이어 피딩(Wire Feeding) 장치의 제어가 가능하도록 하였다. 실험 장비에 대한 그림(Fig.2)이 아래에 자세하게 보여지고 있다. 적층시 산화를 방지하기 위하여 질소 가스를 사용하였고, 작업시 그 공정을 자세하게 관찰하기 위하여 CCD 카메라를 설치하여 PC를 통해 모니터링하였다

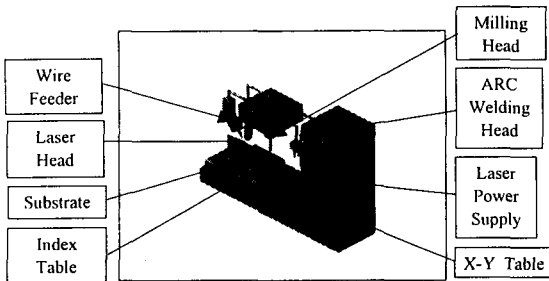


Fig. 2 Schematic diagram of Rapid Direct Metal Deposition machine

## 2.3 실험방법

실험은 단층실험과 적층실험으로 나누어 실행하였다. 먼저 단층실험에서 와이어 진입각도를 설정한 다음, 레이저 출력과 와이어 진입속도를 고정시키고 이송속도를 변화시켜 이송속도에 따른 비드형상의 영향을 조사하였다. 다음 단계에서는 레이저 출력과 이송속도를 고정시키고 와이어 진입속도를 변화시켜 와이어 진입속도에 대한 영향을 관찰하였고, 마지막으로 레이저 출력의 변화에 따른 비드형상의 영향을 조사하였다. 이와같이 반복해서 얻은 최적변수와 레이저 초점(Spot Size), 보호가스 압력에 따른 영향도 조사하였다. 이렇게 생성된 비드 중 양호한 것을 선별하여 비드의 높이와 폭을 측정하여 변수들의 영향을 조사하였다. 적층실험에서는 단층실험을 통해 얻은 각각의 최적조건과 비드사이의 간격(Spacing)을 변화시켜 양호한 평면(Layer)이 얻어지는 조건을 선정하였다.

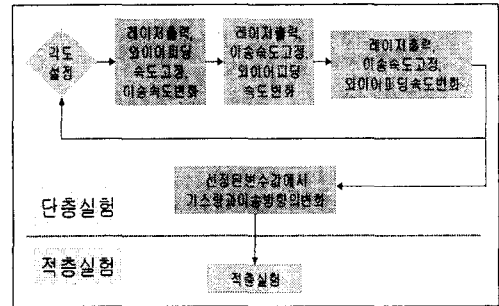


Fig. 3 Flowchart of Experiment

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 단층실험

최적의 용융조건을 선정하기 위해 단층실험을 진행하였다. 레이저 출력과 와이어 진입속도를 일정하게 유지시키고, 이송속도를 증가시키면 비드의 두께와 폭의 크기는 감소하고, 반대로 이송속도를 감소시키면 비드의 두께와 폭은 증가한다. 또한 레이저 출력과 이송속도를 일정하게 유지시키고 와이어 진입속도를 증가시키면 두께와 폭의 크기는 증가하고 반대로 와이어 진입속도를 감소시키면 두께와 폭의 크기는 감소한다. 이와 같이 비드의 두께와 폭은 이송속도에 반비례하는 경향을 보였고, 와이어 진입속도에 비례하는 경향을 보였다. 레이저 출력, 이송속도, 와이어 진입속도, 레이저 초점크기, 와이어 진입각도 등을 고려하여 실험한 결과, 아래 Fig. 4와 같은 최적의 용융조건을 선정하였다.

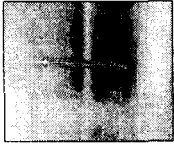


Fig. 4 Single Line of the Bead

Laser Power	650W
Table Speed(Fr)	400mm/min
Wire Feed Rate(Fw)	450mm/min
Spot Size	2.5-3.0mm
Wire diameter	0.9mm
Shield Gas Pressure	3 bar
Deposition Length	50mm
Layer Thickness	0.5mm
Line Width	1.2mm
Angle of the Wire Feeding	30 (Deg.)

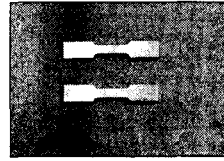


Fig. 7 Tensile Specimens

시편규격	ASTM E8M
Laser Power	600-700W
Table Speed	400mm/min
Feed Rate	450mm/min
Spacing	1mm
Layer Thickness	0.5mm
Spot Size	2.5-3.0mm
Size	100×12×3mm (12Lines)

### 3.2 적층실험

적층실험을 통하여 기본 비드, 비드로 이루어진 벽, 벽으로 이루어진 육면체가 결과로 보여지고 있다. 비드가 생성될 때 윗부분의 모양이 곡면을 이루고 있어 다음 층을 적층시 용융된 금속이 흘러내리는 현상이 발생하였다. 또한 층마다 표면에 결합이 생겼을 경우, 적층을 할 때마다 결합이 더욱 커졌다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 적층후 0.2mm 절삭가공을 수행한 결과, 항상 일정한 비드의 높이를 유지 할 수 있었으며 표면결합이 생겨도 절삭가공을 통해 이를 제거하여 적층이 가능하였다. 이렇게 비드의 윗면을 절삭해 줌으로서 용융된 금속이 흘러내리는 현상도 방지 할 수 있었다. Fig. 5와 Fig. 6은 각각 적층시의 최적조건과 최종형상의 모습을 나타내고 있다.

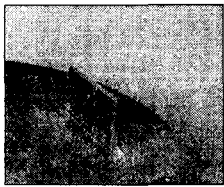


Fig. 5 수직 벽(Wall)

Laser Power	600-700W
Table Speed	400mm/min
Feed Rate	450mm/min
Spacing	1mm
Layer Thickness	0.5mm
Spot Size	2.5-3.0mm
Size	2×30×10mm (2Lines)

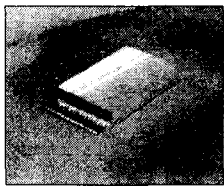


Fig. 6 직육면체(Rectangularity)

Laser Power	600-700W
Table Speed	400mm/min
Feed Rate	450mm/min
Spacing	1mm
Layer Thickness	0.5mm
Spot Size	2.5-3.0mm
Size	30×50×10mm (30Lines)

### 3.3 인장시편제작 및 인장시험

기본적인 형상 제작과 함께 캐속 금속적층 공정으로 제작된 제품의 기계적성질 테스트를 위해 ASTM 표준규격 인장시편을 제작(Fig. 7)하였다. 인장시편을 제작함으로써 제품의 정밀도와 인장강도를 측정하여 시삭 금형 제작공정으로서의 가능성을 파악해 볼 수가 있었다.

강도를 측정하기 위해 ASTM 표준 인장시편을 제작하였다. 레이저 용접에 사용된 와이어는 AWE ER 70S-6 탄소강 소재이며 직경이 0.9mm이다. 인장실험 결과 시편의 인장강도가 55.66Kg/mm<sup>2</sup> 연신율이 53% 정도이었다. 이는 기존의 탄소강 강도와 연신율이 거의 같은 결과값을 나타내었다.

아래의 Table 1은 기존의 탄소강과 캐속 금속조형 장비로 제작한 시편의 비교 데이터이다.

	항복강도 (Kg/mm <sup>2</sup> )	인장강도 (Kg/mm <sup>2</sup> )	연신율 (%)
탄소강	47	56	30
Test specimen	-	55.66	52

Table 1 탄소강과 Test Specimen의 Mechanical Properties의 비교

### 3.4 미세구조

적층 비드에 관한 조직 SEM 사진이 Fig. 8과 같이 보여지고 있다. Base에는 일반 연강의 조직구조가 선명히 나타나 있다. 기저층이나 용접 선재에 의해 적층된 비드는 같은 연강에 속하지만 그 성분은 약간씩 다르다. [A] 부분은 기저층을 보여주고 있으며 또한 첫 비드가 적층이 되어진 바로 아래의 HAZ(Heat-Affected-Zone)가 [B]에 Fig. 8과 같이 나타나 있다. [C][D][E]는 용접 비드의 조직을 보여주고 있으며 [F]는 최상단 급냉에 의한 마텐사이트 조직을 보여주고 있다. [G]는 다른 적층 비드의 예로써 용착이 제대로 되지 않아 비드와 비드 사이에 틈이 보여지고 있다. 최상층에는 급속한 냉각에 의해 마텐사이트 조직이 나타나고 있으며 이는 그림에서 잘 보여지고 있다. 또한 적층된 비드 안에 기포가 전혀 관측되지 않고 있으며 이는 금형 제작시 장점으로 작용할 수 있다.

#### 4. 결론

- 1) 기본 파트제작으로 정밀 금형이나 금속 원형들을 적층할 수 있는 기본적 실험데이터를 얻을 수 있었다.
- 2) 적층된 벽의 미세 조직 검사 등을 통하여 전체 파트의 특성을 파악할 수 있었다
- 3) 빠른 금속조형장치로 제작된 인장시편으로 인장 시험과 경도시험을 실행한 결과, 측정된 강도나 정밀도를 살펴보면 사출성형을 실행 할 수 있는 시작 금형 제작에 응용될 수 있음을 보여준다.

#### 참고문헌

1. M.Murphy, C.Lee, W.M. Steen, "Studies In Rapid Prototyping By Laser Surface Cladding", ICALCO, 1993, pp.882-892
2. Luqman Ahmad, Lesley Eckstrand, Jason Pantarotto, "Rapid Prototyping & Solid Freeform Manufacturing", Canadian Ceramics Quarterly, May 1997, pp.104-107
3. Rapid Prototyping Report, CAD/CAM Publishing, Inc. Jan.1999, pp.4-6
4. B.K. Paul, S. Baskaran, "Issues in fabricating manufacturing tooling using power-based additive freeform fabrication", *Journal of Materials Processing Technology* 61,1996, pp. 168-172
5. Steven Ashley, "Rapid prototyping is coming of age", *Mechanical Engineering*, July 1995, pp.63-68
6. 송용익, 박세형, 조정권, 황경현, 최두선, 신보성, 지해성, "3D Welding and Milling For Rapid Tooling", 한국 정밀 공학회 추계 학술 대회, 1998, pp.940-944
7. 최두선, 황경현, 신보성, "금속 시작품 제작을 위한 레이저 빠른조형시스템 개발", 기계와 재료 10권 3호(秋), 1998, pp.130-140
8. Naoki Ichikawa, Masaki Misawa, Seisuke Kano, Nobuhiro Aya, Hideo Iwamoto, Yuji Enomoto, "Numerical Analysis of Transient Heat Transfer and Temperature Response in a Metal during a Laser Irradiation", ICALCO 97, Section-C, 1997, pp.216-225

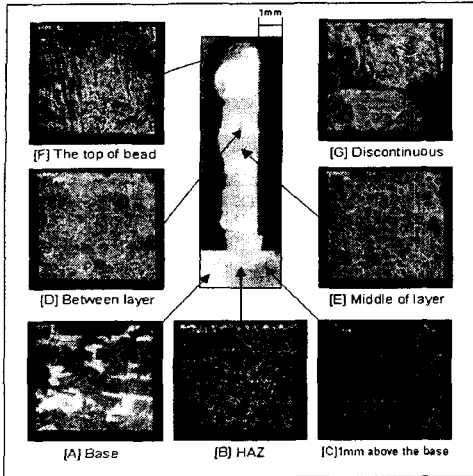


Fig. 8 Microstructure of the Wall

#### 3.5 Hardening

경도의 수치는 열전달에 의하여 급냉 된 기저층에서 비교적 높게 나타나고 위로 올라감에 따라 그 값이 수렴될 것임을 예측할 수 있고 실제 측정 값에서도 그 기저층 바로 윗 부분(1mm 상단)(Fig. 9)에서 높은 수치를 보여주고 있다.

층과 층 사이의 용융된 부분이 또한 의미 있는 수치를 가지고 있는데 여기에서는 경도가 층 중간 보다 20Hv 정도 다소 감소된 수치 나타나고 있고 이는 상위층 적층시 하위층에 대해 열에 의한 템퍼링 효과로 설명될 수 있다. 이러한 수치는 비드 하단에서 보다 잘 나타난다. 비드 전체에 걸쳐 경도는 상위부분으로 갈수록 점점 작아지며 수렴하는 것으로 보이고 있다. 최상단은 절삭되지 않은 부분으로 공냉으로 인한 마르텐사이트 조직이 나타나 있고 그 경도 또한 매우 높게 나타나고 있다.

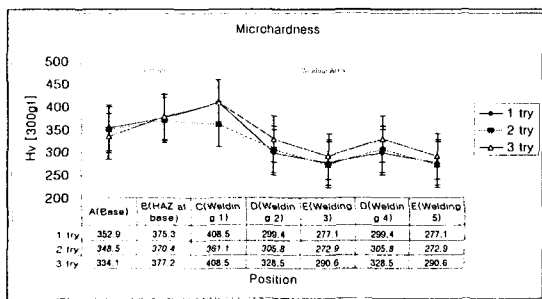


Fig. 9 Micro-Hardness