

구조용강 레이저 용접시의 플라즈마 관찰

Observation of laser induced plasma in welding of steel

산업과학기술연구소 *김기철, 이기호

1. 서언

대출력 탄산가스 레이저를 이용한 철강재료의 용접은 용접 능력과 용접부 품질이 우수하기 때문에 연속작업을 필요로 하는 제조공정을 비롯하여 고품위 및 정밀부품 가공분야에서 빼놓을 수 없는 기술이 되고있다. 레이저 용접부의 형성에 영향을 주는 요소들 중에서 레이저 에너지와 재료와의 사이에서 발생하는 플라즈마(LIP, Laser Induced Plasma)는 적절히 제어하여 주어야만 소정의 용접부 품질을 확보할 수 있는 것으로 알려지고있다.

본 실험에서는 구조용 철강재료를 용접할 때, 생성되는 LIP를 직접 관찰하므로써 LIP 제어의 기본개념을 정립코자 한 것이다.

2. 실험방법

소재는 일반 구조용 철강재료로서 열간 압연 그대로의 표면상태를 가진 두께 6mm의 판재를 사용하였는데, 모재의 조성은 Table 1과 같다. TEM_{01s} mode를 가지는 탄산가스 레이저 장치를 이용하여 용접(bead-on-plate)을 실시하였는데, 이때 사용된 종단의 beam delivery 계는 190mm의 초점거리를 가진 ZnSe 렌즈였다. 보조가스로서는 Ar을 사용하였고, 5mm 직경의 nozzle을 통하여 평균유량 0~80ℓ/min의 범위에서 용접을 실시하였는데, 이 때 PHOTEK IV 고속 촬영 장치를 써서 LIP를 직접 관찰하고자 하였다. 또, LIP의 특성을 알아보기 위하여는 spectrum analyzer도 사용하였다. 실험 조건은 Table 2에 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 보조가스를 불어주지 않은 상태에서 레이저 용접을 실시할 때, 재료표면에서 발생하는 플라즈마의 생성과정을 1/5000 초 간격을 두고 연속적으로 기록한 사진이다. 최초의 사진 a에서는 아직 플라즈마의 생성이 일어나지 않은 경우로서 갈색부분은 앞서의 용접과정에서 형성된 고온 증기이다. 1/5000 초 경과 후에 얻어진 b에서는 재료 표면 중앙부에서 푸른색을 띤 밝은 부분이 형성되므로써 metal vapor 상태의 플라즈마가 생성되었음을 볼 수 있다. 이후 c에서는 플라즈마가 커지면서 더욱 밝아지는데 매우 급격한 성장을 관측할 수 있었다. 시간이 경과할 수록 플라즈마는 더욱 커지고 밝아지면서 결국에는 e 모양의 플라즈마 기둥 형태를 보이고 있다. 이때 까지의 소요 시간은 최초 반응으로 부터 7/5000초~9/5000초 범위였다.

플라즈마의 발생 특징을 좀 더 자세히 고찰하기 위하여 전형적으로 성장한 것을 기초로 살펴보면, 시험재와 레이저 빔과의 반응에 의해 중앙 하단부의 가장 밝은 부분

a에서 최초 반응을 시작으로 생성된 플라즈마는 b 처럼 큰 풍선모양을 하고있다. 풍선모양을 중심으로 좌우에는 휘도가 비교적 낮은 푸른색을 띤 c 부분이 존재하고 있는데, 이 부분의 온도와 밀도는 빛의 밝기를 기초로 할 때 b 영역보다는 저하되어 있음에 틀림없다. 한편, 우측에 비해 좌측 부분이 커져있는 것은 용접진행 방향과 관계가 있어서 용접부 후방(고온측)으로 흐르면서 크게 형성되는 특징을 보였다. 좌측의 적갈색을 띤 d 부분은 c 부분의 온도 및 밀도가 더욱 저하되어 나타나는 현상(흑체 발광에 의한 색온도 개념을 도입할 때 쉽게 유추할 수 있음)으로, 최종적으로는 용접이 진행됨에 따라 용접부 후방에서 소멸하게된다. 한편, 용융금속 바로 윗부분에는 용접선을 따라 계속적으로 강한 푸른 빛을 띤 플라즈마가 직선적(수평방향)으로 형성되어 있는데(e 부분) 이는 레이저 용접시 특징적으로 발생하는 key-hole의 형성 및 용융물의 거동과 관계가 있는 것으로 생각된다.

플라즈마는 레이저 용접성을 저해하는 요소로 작용하므로 이것을 제거하려는 연구가 많은 분야에서 이루어지고 있으며, 방법으로는 보조가스를 비스듬히 불어 넣어 주는 방법 외에 플라즈마 주위에 강력한 전자기장을 걸어서 유도하는 방법과 전자빔과 같이 진공상태에서 용접을 실시하는 방법 등이 보고되고 있다. 그러나, 위의 2가지 방법은 아직 실험 단계이므로 현실적으로는 전자의 보조가스를 불어 넣는 방법이 사용되고 있다.

본 실험 결과에 의하면 최적 가스량은 40l/min으로 판단되는데, 이 때 용융금속 위에 붙어있는 플라즈마의 길이가 늘어나 있어서 취입가스 압력에 의한 용융지(key-hole 상부의 cavity)의 공간이 넓어졌음을 추측할 수 있었다. 만약, 가스량을 더욱 증가시킬 경우에는 플라즈마의 제거 효과는 커질 수 있으나, 과도한 가스압력에 의하여 용융된 금속이 응고전에 토출되므로서 표면에는 혹 형태의 비드를 형성하며, 내부에는 기공등의 용접결함을 일으키게 된다. Fig. 2는 이러한 비드의 형성과정을 보인 연속사진이다. 가스압에 의해서 밀려진 용융금속은 용접이 진행되면서 더욱 커지고, 용접의 진행과 함께 가스 흐름에 의해 후방으로 이동되는데 그 속도는 대략 11.5m/min 정도로 관측되었다. 뒤로 밀린 용융 금속의 덩어리는 시간이 경과함에 따라 응고되면서 혹 모양으로 비드 표면에 달라 붙기 때문에 humping 비드 전후에는 용융물의 부족에 의한 기공이 존재하는 결과를 초래하게 된다.

4. 결론

- 1) 레이저 용접에서 형성되는 플라즈마(LIP)의 생성-성장-소멸의 주기는 본 실험 조건의 경우 평균 1.6msec 내외였다.
- 2) 보조가스에 의한 LIP 기둥의 높이는 뚜렷이 감소하여 가스분사량 40l/min 부근이 적정값으로 생각되었으나, 일정량 이상의 많은 가스분사는 humping 비드와 같은 용접결함을 발생시켰다.

참고문헌

1. 荒田, 溶接學會全國大會講演概要集, 第35集, 1984, P. 74
2. Kosuge S., IIW DOC. IV-417-86, 1986, P. 19

Table 1 Chemical compositions of base metal

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
0.14	0.43	1.02	0.018	0.050	0.20	0.44	0.24

Table 2 Test conditions of high speed photometry

Gas(Ar) flow rate	Filming condition	Welding condition
0 l/min.	Camera: PHOTEC-4 Lens : 200 mm	Beam mode: TEM ₀₁ * Power: 2.1 kW
10 l/min.	Speed : 5,000 fps Film : Kodak 7297	Speed: 1.2m/min. Focus: -1 mm
40 l/min.	EI 250	

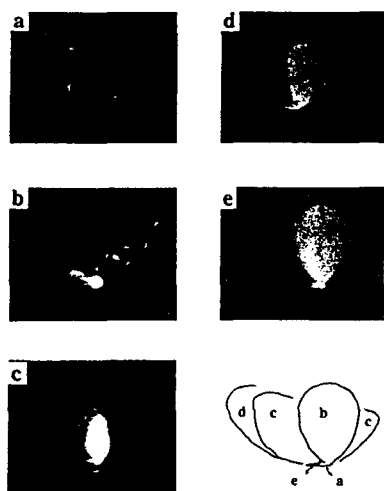


Fig.1 High speed filming results(LIP)

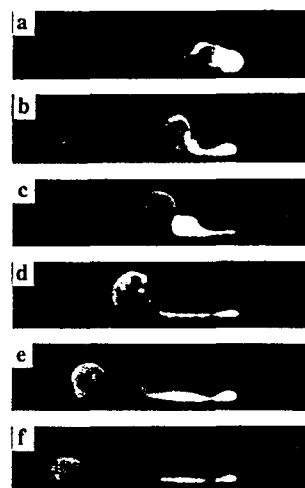


Fig.2 Humping bead formation