

◆특집◆ 하이브리드 제조기술

하이브리드 용접기술

김철희*

Hybrid Welding Technology

Cheolhee Kim*

Key Words : Welding (용접), Hybrid welding (하이브리드 용접), Laser (레이저), Arc (아크), Gas Metal Arc (가스메탈아크), Gas tungsten arc (가스텝스텐아크), Plasma arc (플라즈마 아크)

1. 서론

하이브리드 용접기술은 2 가지 이상의 용접기법을 동시에 이용하여 상호기법간의 시너지 효과를 유도하여 효율을 극대화하는 용접 방법이다. 열을 이용하여 용접을 구현할 때 주로 이용되는 열원은 전기저항열, 레이저, 전자빔, 아크 플라즈마 등인데 이중 현재 하이브리드용접으로 상용화된 방법들은 레이저와 아크플라즈마를 복합하는 방법과 GMA 아크와 플라즈마 아크를 복합화하는 방법 등이 있다.

레이저와 아크 플라즈마를 결합하는 이유는 레이저 용접이 깊은 용입과 빠른 용접속도, 저 변형 등의 장점이 있으나 출력 대비 비용이 높고 자동화 공정에 이용시에 부재의 정확한 간격 유지와 fit-up 이 요구되는 단점이 있는 반면 아크용접은 레이저 용접에 비해 정밀한 용접이 어렵지만 출력 대비 비용이 낮고 용접부에 존재할 수 있는 간극이나 높이 단차에 대한 대응능력이 뛰어난 장점이 있다. 또한 2 개의 열원을 이용하는 경우에 하나의 용융풀을 형성하여 각각의 효과를 극대화하지만 열원의 조사지점이 상대적으로 차이가 나므로 용

접부에 대한 예열 및 후열처리 효과가 발생한다.

후판의 조립에서 레이저-아크 하이브리드 용접 공정이 적용되는 분야는 여객선의 객실 등으로 선박에서는 비교적 박판에 해당되지만 변형이 감소되어야 하는 부위나 대형구조물이면서 고속 조립이 필요한 파이프라인 연결부 등이다. 박판이 사용되는 자동차의 조립에서도 폭스바겐의 페이튼 자동차의 프런트 도어부는 기존의 저항점용접을 배제하고 70% 이상의 용접장을 레이저-아크 하이브리드 용접으로 구성하였다. 또한 기존의 레이저 단독용접으로 적용에 한계가 있었던 아연도금강판, 알루미늄 합금 부품의 조립에서도 레이저-아크 하이브리드 용접의 장점을 이용하여 적용이 활발히 검토되고 있다.

플라즈마 아크는 레이저와 유사하게 깊은 용입이 가능한 아크 용접기법으로 레이저-아크 하이브리드와 유사하게 플라즈마 아크와 가스텝스텐 아크(GTA)나 가스메탈아크(GMA)를 하이브리드화한 경우 깊은 용입과 간극에 대한 대응을 동시에 구현할 수 있다. 최근에는 플라즈마아크를 깊은 용입을 구현에 이용하지 않고 오히려 가스메탈 아크의 바깥쪽에 아크를 구성하여 용적 이행을 안정화시키고 용접부재에 예열효과를 주어 비철금속의 용접에 활용하는 방법도 개발되었다.

본 논문에서는 저자 및 공동연구자들에 의해 수행된 레이저-아크 하이브리드 용접의 적용사례를 소개하고자 한다.

* 한국생산기술연구원 정밀접합팀
Tel. 032-850-0222, Fax. 032-850-0210
Email : chkim@kitech.re.kr

용접기술 특히, 신용접공정의 개발, 용접현상의 해석 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

2. 레이저-아크 하이브리드 용접

2.1 후판 맞대기용접에서 갭대응력의 평가

2.1.1 레이저-GMA 하이브리드 용접

후판의 맞대기 용접에 레이저를 적용할 때 발생하는 문제점중의 하나는 레이저의 빔직경이 작기 때문에 갭이 발생할 경우 이에 대응하기 어렵다는 점이다. GMA 용접은 전극으로 소모성 와이어를 이용하기 때문에 갭에 대한 대응력이 상당히 우수하므로 이를 레이저와 복합하여 갭대응력을 평가하였다.¹

8mm 두께의 조선용 A grade 강재에 I 맞대기 용접부를 조성하여 갭에 따라 용접파라미터를 변경하면서 0mm 에서 2mm 까지의 갭에 대해 대응력을 평가하였다. 실험에서는 CO2 레이저 8kW 출력과 용접속도 1.5m/min 을 이용하였으며 그 결과를 그림 1 에 나타내었다. 그림 1(a)~1(c)과 같이 1mm 이내의 갭에서는 용접전류 및 전압을 조절하여 갭대응력을 확보할 수 있었다.

갭이 1.5mm 인 경우에는 전류, 전압조절 만으로는 원하는 비드형상을 얻을 수 없어 아크 압력을 낮추기 위해 기존 18mm 의 팁-모재간 거리(CTWD)를 32mm 로 변경하여 그림 1(d)와 같이 양호한 비드를 얻었다. 갭이 2mm 인 경우에는 기존 1.2mm 직경의 와이어를 1.4mm 와이어로 대체하여 그림 1(e)와 같이 갭대응력을 확보할 수 있음을 확인하였다.

2.1.2 레이저-회전아크 하이브리드 용접공정

위 2.1.1 절에서 언급한 바와 같이 맞대기 용접부의 갭대응이 2mm 까지 가능함을 확인하였으나 용접공정 도중 용접와이어의 직경을 변경하는 것이 불가능하므로 그림 2 와 같이 고속으로 회전하는 아크를 레이저와 복합화 하였다.

용접조건을 최적화한 후 갭을 가진 맞대기 용접부에 적용한 결과 팁-모재간 거리의 제어나 용접와이어의 교체 없이도 그림 3 에서 보는 것과 같이 2mm gap 에 대해서도 대응이 가능함을 알 수 있었다.²

레이저-회전아크 하이브리드 용접의 경우 갭대응력향상 외에도 아크센서가 적용가능하며,³ 보호가스의 종류 및 레이저-아크간 거리에 따라 발생할 수 있는 언더컷 등의 결함의 제거가 가능하여 고품위 용접을 가능하게 한다.⁴

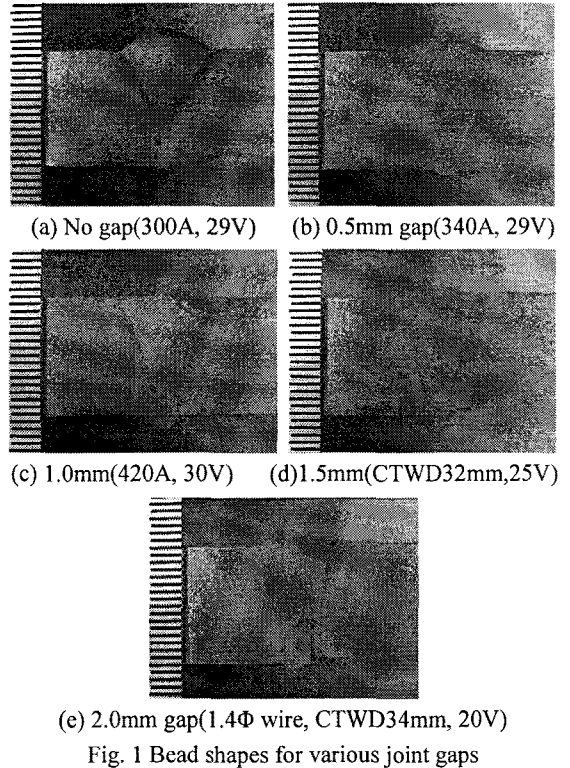


Fig. 1 Bead shapes for various joint gaps

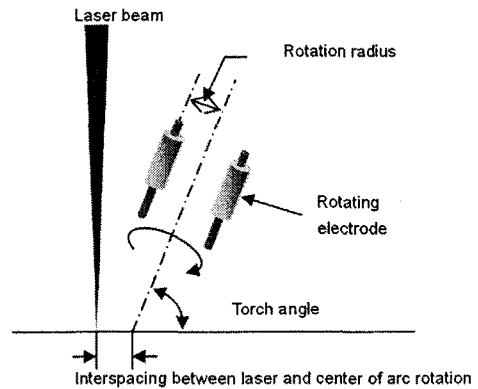


Fig. 2 Schematic diagram of laser-rotating arc hybrid welding process

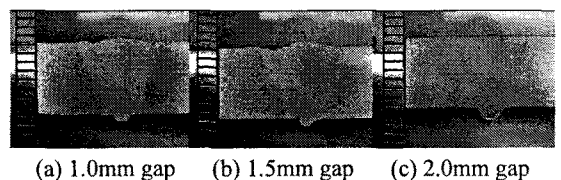


Fig. 3 Bead shapes for laser-rotating arc hybrid welding

2.2 아연도금강판의 레이저-아크 하이브리드 용접

2.2.1 레이저-GTA 하이브리드 용접

아연도금강판을 레이저 겹치기 용접할 때 계면의 아연의 비등점이 낮아 강판이 용융되기 전 기화하여 그림 4 와 같이 폭발하면서 기공이 발생하기 쉽다. 1mm 두께의 SGCD1 아연도금강판에 4kW 출력의 CO2 레이저를 용접속도 3m/min 으로 조사한 결과 그림 5 와 같이 결함이 발생함을 확인할 수 있었다. 레이저-아크 하이브리드 용접에서는 아크를 레이저에 선행시켜 계면의 아연을 레이저가 조사되기 전 기화시키거나 산화시키는 것이 가능하다. 100A 전류의 GTA 아크를 레이저 아크간 거리 7mm 를 유지하여 선행하여 복합화 한 결과 그림 6 과 같이 양호한 비드를 얻을 수 있음을 확인하였다.⁵

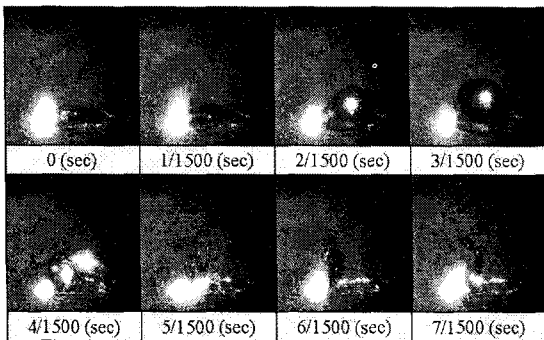
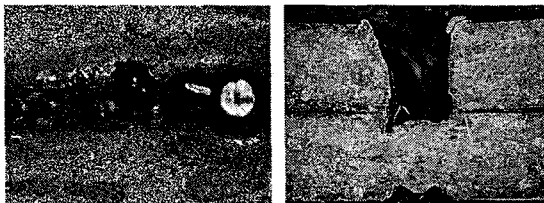


Fig. 4 High speed images for autogenous laser lap welding of zinc-coated steel sheets



(a) Top surface (b) Transverse cross-section

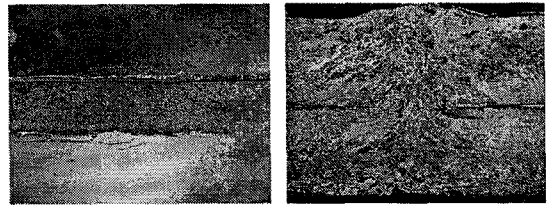
Fig. 5 Weld defects for autogenous laser lap welding

2.2.2 레이저-플라즈마 하이브리드 용접

플라즈마 용접은 고속으로 분출되는 플라즈마 제트를 이용하는 용접방법으로 GTA 용접에 비하여 아크를 집중시켜 열원의 밀도를 높일 수 있다. 그림 6 과 같이 아연도금강판의 겹치기 용접에서 레

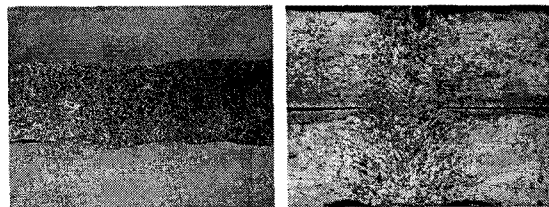
이저-GTA 하이브리드 용접을 적용시 양호한 용접 품질의 확보가 가능하나 레이저 단독용접에 비하여 GTA 로 인한 입열이 부가적으로 적용되므로 다소 입열이 증가하고 이에 따라 용접부의 변형량이 증가할 수 있다.

이를 감소시키기 위한 대안으로 고밀도의 플라즈마 아크를 CO2 레이저와 복합화하여 동일한 아연도금강판의 겹치기 용접에 적용결과 그림 7 과 같이 60A 의 플라즈마 전류만으로도 양호한 용접 품질확보가 가능하여 레이저-GTA 하이브리드 용접에 비해 아크 입열을 40% 가량 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.⁶



(a)Longitudinal cross-section (b)Transverse cross-section

Fig. 6 Cross-sectional bead shapes for CO2 Laser-GTA hybrid weld (100A arc current; 1mm electrode height; 7mm LB-electrode distance; Arc leading)



(a)Longitudinal cross-section (b)Transverse cross-section

Fig. 7 Cross-sectional bead shapes for CO2 Laser-micro plasma hybrid weld (60A arc current; 2mm electrode height; 4mm LB-electrode distance; Arc leading)

2.3 포지션 용접

빔 전송이 유연한 레이저 시스템의 성능이 향상되고 있어 파이프 용접 등과 같이 여러 용접 자세를 필요로 하는 용접에서 하이브리드 용접을 적용을 검토하기 위하여 디스크 레이저와 GMA 용접을 복합화하여 포지션 용접특성을 평가하였다. 4kW 출력의 디스크레이저와 1m/min 의 용접속도에서 레이저-아크간 거리 및 보호가스조성에 대한

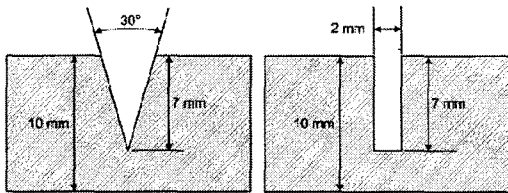
영향을 분석한 결과 각각 2mm 와 Ar 80%+CO2 20% 조성이 절절함을 확인하였다.

아래보기 용접자세에서 위보기 용접자세까지를 30 도 단위로 용접 포지션으로 나누고 그림 8 과 같이 I 형 그루브와 V 형 그루브로 하였고 2 패스 용접을 실시하였다.

V 형 그루브에 대해 초층 용접을 수행하여 양호한 비드를 얻을 수 있는 조건을 도출하였으나 2 번째 패스의 용접에서는 그루브면이 넓어 용융풀이 흘러내리므로 수직하향 자세 등에서 언더필과 불균일한 비드 외관이 관찰되었다.

I 형 그루브 시편에서도 마찬가지로 초층 패스 용접을 통하여 양호한 비드형상과 완전용입을 얻기 위해 GMA 용접기의 전류와 전압을 정하였다.

I 형 그루브는 V 형 그루브와 달리 그루브면이 좁아 초층 패스 수행 후에 2 번째 패스를 수행하여도 용융풀이 쉽게 흘러내리지 않아서 Fig. 10 과 같이 양호한 비드와 완전용입을 갖는 것을 확인하였다.



(a) V-groove (b) Square groove
Fig. 8 Groove types used

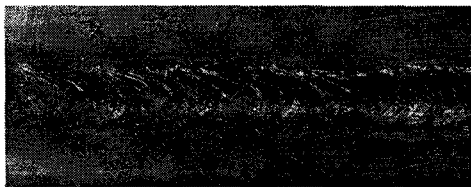


Fig. 9 Hybrid welding of vertical position with V groove

3. 결론

하이브리드 용접기법은 기본적으로 2 개 이상의 공정을 이용하므로 용접을 구현하기 위한 장치가 비교적 복잡한 단점을 가지고 있음에도 불구하고 용접의 생산성 및 품질에 대한 요구가 점차 증가함에 따라 사용 또한 증가할 것으로 예상된다.

0°	Front bead	
	Back bead	
30°	Front bead	
	Back bead	
60°	Front bead	
	Back bead	
90°	Front bead	
	Back bead	
120°	Front bead	
	Back bead	
150°	Front bead	
	Back bead	
180°	Front bead	
	Back bead	

Fig. 10 Bead shapes for square groove welding

참고문헌

1. Chae, H.-B., Kim, C.-H., Kim, J.-H. and Rhee, S., "The Effect of Process Parameters on Gap Bridging Capability for CO₂ Laser-GMA Hybrid Welding," ICALEO, Paper No. P520, 2005.
2. Kim, C.-H., Chae, H.-B., Lee, C.-W., Kim, J.-H. and Rhee, S., "Development of Laser-Rotating Arc Hybrid Process," Journal of KWS, Vol. 24, No. 1, pp. 88-92, 2006.
3. Kim, C.-H., Kim, J.-K., Kang, N.-H. and Lee, C.-W., "Preliminary Study on Arc Sensor in Laser-Rotating Arc Hybrid Welding," Journal of KWS, Vol. 24, No. 1, pp. 7-9, 2006.
4. Chae, H.-B., Kim, C.-H., Kim, J.-H. and Rhee, S., "Welding Phenomena in Hybrid Laser-Rotating Arc Welding Process," Materials Science Forum, Vol. 539-543, No. 4, pp. 4093-4098, 2007.
5. Kim, C.-H., Choi, W.-Y., Kim, J.-H. and Rhee, S., "Relationship between the Weldability and the Process Parameters for Laser-TIG Hybrid Welding of Galvanized Steel Sheets," Materials Transactions, Vol. 49, No. 1, pp. 179-186, 2008.
6. Ahn, Y.-N., Kim, C.-H., Cho, J.-H. and Kim, J.-H., "CO₂ Laser-Micro Plasma Hybrid Welding for Galvanized Steel Sheets," Proceedings of the Autumn Annual Meeting of KWJS, Vol. 48, pp. 354-356, 2007.
7. Kim, C.-H., Lim, H.-S. and Kim, J.-K., "Position Welding using Disk Laser-GMA Hybrid Welding," Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 28, No. 1, pp. 83-86, 2008.