

고용착 GMA 용접의 금속이행연구

A study on metal transfer for high deposition GMAW

경규담*, 이정현*, 박상규*, 강봉용**, 김희진**

* 현대정공(주) 기술연구소, ** 생산기술연구원

1. 서론

금속이행은 소모성 전극을 이용한 아크(arc) 용접에서 금속이 용융된 와이어로부터 모재로 이동하는 현상을 의미하며, GMAW에서 용적이 이행하는 형태에는 여러 가지 모드(모드) 즉, short circuit, globular, spray 등이 있다. 이러한 이행모드는 비드의 형상, 용입깊이, 아크의 안정성, 스파터 등에 변화를 주며, 용접전류, 와이어 들출길이, 와이어 크기 및 보호 가스에 의해 영향을 받는다. 용접시 용적은 강력한 빛을 발하는 고온의 아크 속에서 고속으로 이행하기 때문에 고성능 실험장치와 정밀 실험계측기술을 필요로 한다. 본 연구에서는 고속카메라와 관련된 광학시스템을 이용하여 여러 종류의 이행모드에 대해 관찰을 하였으며, 고전류 영역에서의 용적이행에 미치는 용접조건, 보호가스 및 용접재료 등에 대한 영향을 파악하여 고용착 GMA 용접에 대한 아크 안정화 방안을 제시하고자 한다.

2. 실험장치

실험에 사용된 용접와이어는 ϕ 1.2mm(ER 100S-1, ER 70T-1), 와이어 들출길이 25mm이며, 보호가스는 98%Ar+2%O₂, 95%Ar+5%O₂, 100%CO₂ 가스와 4원 혼합가스를 채택하였으며, 이중 4원 혼합가스는 T.I.M.E. process 관련문헌에 의거 65%Ar+26.5%He+8%CO₂+0.5%O₂로 특별히 제조하였다. 용접기는 600A 이상의 전류를 얻을 수 있는 thyristor 위상제어방식에 정전압 특성을 가지고 있으며, 와이어 송급장치는 정속도 방식으로 최대 48m/min 송급성능을 가진 제품을 개발하였다. 여러 형태의 금속이행 현상을 관찰하기 위하여 약 200~600A의 전류영역과 7m/min~40m/min까지의 와이어 송급속도 범위 내에서 실험을 수행하였다. 금속이행 관찰에 방해가 되는 아크광을 감쇄시키기 위해 할로겐 조명을 이용하였으며 용적의 그림자를 관찰하기 위해 출력 30mW, 파장 632.6nm의 He-Ne 레이저와 관련 광학장치를 이용하였다. 또한 용접이 진행되는 동안의 용접전류/전압을 측정하기 위해 파형측정장치를 이용하였다(Fig. 1 참조).

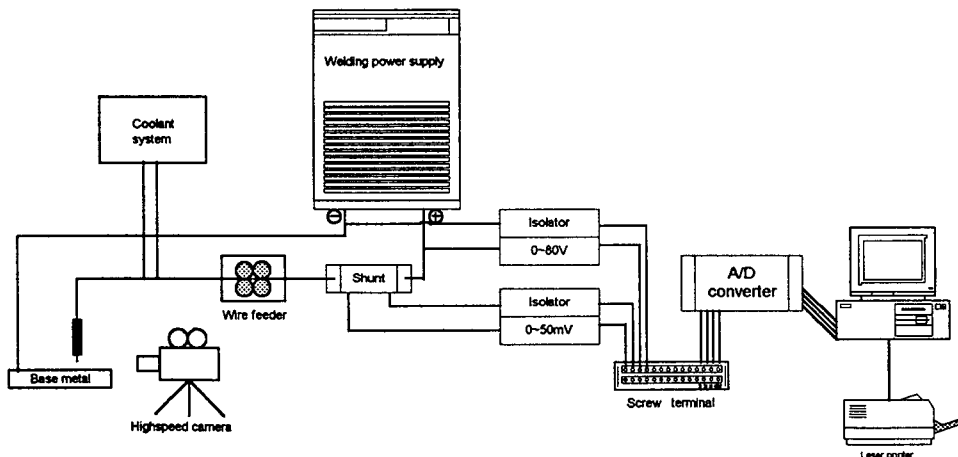


Fig. 1 Schematic diagram of the welding system

수록 rotating 이행이 생성되기 어렵다는 것을 쉽게 유추할 수 있다. 실제로 ϕ 1.6mm solid 와이어의 경우 와이어 들출길이 25mm이하에서는 600A까지도 rotating 이행은 관찰되지 않았다.

3.2 용접속도에 따른 금속이행 변화

ϕ 1.2mm solid wire를 사용하여 고전류 영역에서의 용착속도의 변화를 체계화하고 CTWD를 25mm로 일정하게 한 상태에서 용접전압을 변화 시키면서 그때 나타나는 용적이행 형태를 시각적으로 관찰한 결과 Fig. 3에 나타난 바와 같이 저전압측에서는 short circuit 이행이 나타나다가 전압이 증가하면 바로 spray로 천이하고 있음을 알 수 있다.

본 실험조건에서는 속도가 20m/min 이하에서는 와이어 송급 spray 이행이 axial 모드로 나타나지만, 그 이상의 송급속도에서는 axial 모드는 없어지고 rotating 모드가 주도하게 되는 것이다. 이러한 spray 이행 모드의 천이는 와이어 송급속도의 크기에 따라 차이가 있음을 보여주는데, 와이어 송급속도가 20m/min 이하에서는 axial spray로 천이하는 반면, 그 이상에서는 rotating spray 이행으로 천이되고 있음을 보여주고 있다.

ϕ 1.2mm metal cored wire를 사용한 경우에는 Fig. 4에 나타난 바와같이 WFS가 증가함에 따라 천이전압은 증가하고 있음을 보여주고 있으며, 용접 전압이 증가함에 따라 천이를 하는데 mixed 이행은 다소 넓은 범위에서 일어나는 반면 globular 이행은 매우 좁은 전압범위에서 일어나고 있음을 알 수 있었다. 그러나 rotating spray 이행은 나타나지 않았다.

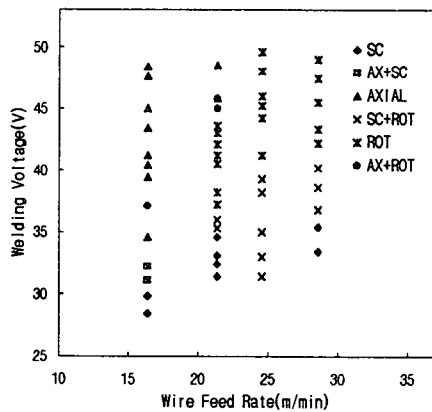


Fig. 3 Metal transfer mode map as a function of wire feed rate and voltage for solid wire

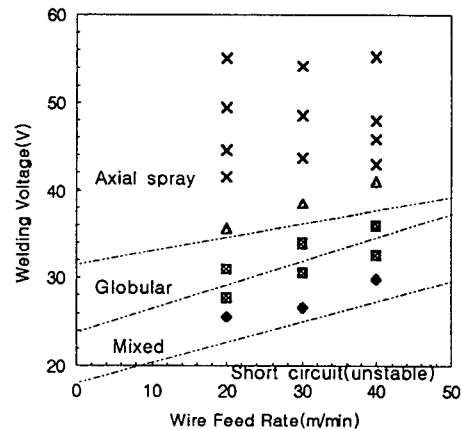


Fig. 4 Metal transfer mode map as a function of wire feed rate and voltage for metal cored wire

4. 결론

가. Ar base 보호가스에 ϕ 1.2mm solid wire를 사용한 경우 고용착영역(17m/min이상)에서 전압이 낮을 때에는 short circuit 이행, 전압이 높을 때에는 rotational spray 이행이 나타났는데 이러한 이행모드는 29m/min 이상이 되면 매우 불안한 상태가 되었다.

나. ϕ 1.2mm metal cored wire를 사용한 경우 100%CO₂ 가스에서는 모두 globular 이행을 보여 주었으나, Ar base 가스에서는 용접 전압이 증가함에 따라 short circuit, mixed, globular, spray 이행으로 변화하였다. 특히 본 재료에서는 고용착에서도 rotational spray 이행 mode를 보여주지 않았다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용접전류에 따른 금속이행 형태의 변화

Ar 가스를 보호가스로 사용하는 GMA 용접에서 전류증가에 따른 용적이행현상의 변화를 Fig2에 보여주고 있다. 일반적으로 저전류영역에서는 short circuit 이행(a)과 globular의 drop 이행(b)을 보여주지만 전류가 증가하면 와이어 선단이 conical 모양(c)이 되고 선단에서 생성된 용적은 drop 양상으로 용융풀로 이행된다. 전류가 더욱 증가하면 와이어 선단은 pencil-point tip 모양(d)이 되고 여기서 생성된 매우 미세한 용적은 streaming 이행을 하게 된다. 여기서 전류가 더욱 증가하게 되면 "Kink instability"가 발생하여 streaming 이행은 rotating 이행 형태(e)로 바뀌게 된다. 또한 spray 이행형태는 전류가 증가함에 따라 보다 세분되어 projected, streaming 및 rotating으로 구분되는데, 실제 용접 아크를 육안으로 자세히 관찰해 보면 projected인 경우에는 삼각형의 아크 기둥만이 보이고, steaming인 경우에는 삼각형의 아크 기둥 중앙에 용적이 streaming을 이루고 있는 검은선이 관찰되며, rotating의 경우에는 아크 기둥이 종모양으로 바뀌는 것을 관찰하였다.

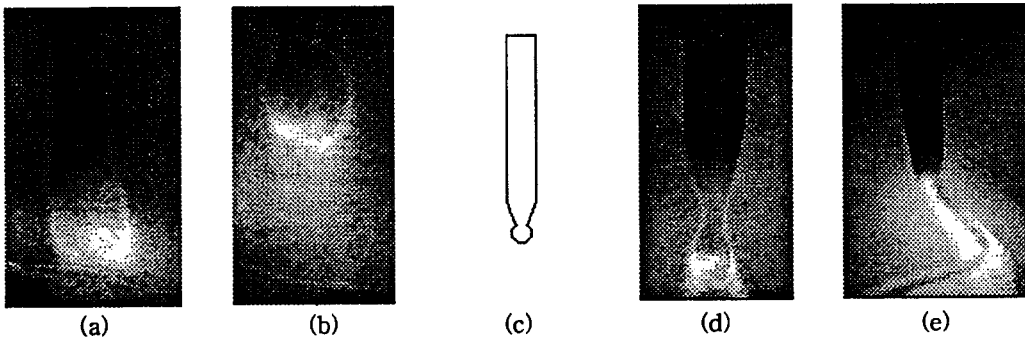


Fig. 2 Successive modes of transfer in GMAW with increasing current density

3.1.1 Rotating spray 이행

rotating 이행현상은 와이어 팁이 회전하면서, 발생된 용적이 와이어 축으로부터 어느 정도의 각도를 가지는 방향으로 이행하는데, 이는 용접전류가 증가함에 따라 높은 저항열 때문에 와이어가 쉽게 변형될 수 있는 상태에서 고전류에 의해 다량 발행한 metal vapour가 역방향의 힘을 크게 하여 와이어 선단부위를 휘어지게 할뿐만 아니라, 회전운동도 시키게 되는 것으로 판단된다.

3.1.2 Rotating spray 이행에 미치는 인자

용적이행이 straming에서 rotating으로 천이하는 전류범위를 결정하는 가장 큰 용접변수는 와이어 돌출길이, 와이어의 직경, 와이어의 화학조성이라고 알려지고 있다. 즉, rotating 이행은 와이어의 가열로 인한 와이어 deflection에 의하여 생성되기 때문에 와이어의 가열을 조장시키는 와이어 돌출길이가 길수록, 그리고 와이어의 직경이 작을수록 천이전류 영역은 저전류쪽으로 이동하게 된다. 이와 같은 경향은 실험적으로 확인이 되었으며, 실험결과를 다음과 같은 수식으로 표현하고 있다. 아래의 실험식은 연강 와이어를 DCRP로 Ar 가스를 보호가스로 사용한 경우에 얻어진 실험식이다.

$$I_R = 25 + 1350D + 14.5 \times 10^4 \frac{D^2}{L}$$

여기서 I_R 는 Rotating 이행 천이전류, D 는 용접 와이어의 직경, L 은 용접 와이어 돌출길이이다. 한편 전극에서 발생하는 저항열은 전극의 전기 전도도와 관계가 있으므로 저항열이 작을