

GMA용접의 용적이행현상에 대하여

안 영 호

On Droplet Transfer Phenomena of GMA Welding

Young-Ho An



안영호/포항종합제철
기술연구소/1960년생/
GMAW용적이행현상
및 용접재료

1. GMA용접의 용적이행현상

용적이행이란 전극선단에서 발생하는 고온의 아크열에 의하여 녹은 전극선단의 용융금속(molten metal 혹은 droplet)이 용융지로 이행하는 것을 칭하는 것으로 금속이행(metal transfer) 혹은 용적이행(droplet transfer)이라 하고, 이행을 이루는 현상을 용적이행현상(metal transfer phenomena 혹은 droplet transfer phenomena)이라 한다. 용접은 전극선단에서 용적의 성장, 용융지로의 이행 등으로 이루어지는 일련의 과정이 반복적으로 일어남으로써 진행된다.

용적이행현상의 양·부는 아크 안정성, 스패터 발생, 용입 특성 및 용접결함 발생 등과 밀접한 상관성이 있으므로, 용접부의 품질을 확보하기 위하여는 용적 이행현상의 제어 및 관리가 매우 중요하다. 이러한 용적이행현상에 미치는 인자로서는 용접법, 보호가스의 종류, 용접조건, 용접재료의 종류, 용접전원의 제어형태 등이 알려지고 있다.

최근 용접의 생산성 향상을 위하여 용접공정의 자동화가 무엇보다도 중요시되고 있어, GMA용접의 적용률이 증대되고 있으며, 이러한 추세는 산

업환경 및 용접의 고능률화 추세로 볼 때 향후에도 지속될 것으로 예상된다. 따라서 본 강좌에서는 GMA용접기술을 다루는 현장 용접 기술자들이 기본적으로 이해하고 있어야 할, 용적이행현상에 대한 기초를 다루고자 하였다.

2. 용적이행현상의 분류 및 제인자의 영향

2.1 국제 용접학회의 분류

GMA용접의 용적이행현상은 보호가스의 종류, 용접전류의 세기에 따라 크게 구분되어진다. 국제 용접학회(IIW : International Institute of Welding)에서는 GMA용접의 용적이행현상을 Table 1과 같이 분류하고 있다. 즉 용적이행현상은 교락이행(bridging transfer)과 자유비행이행(free flight transfer)으로 크게 구분된다.

교락이행은 소전류-저전압 GMA용접에서 주로 발생하며, 와이어 선단에서 형성된 용적이 용융지와 단락됨으로써 용적이 용융지로 이행하는 단락이행(short circuit transfer)이 전형적인 이행현상이다. 한편 용접전류 및 용접전압이 증가하면 이행형태는 자유비행이행으로 바뀌고, 이행현상은 보

Table 1. Classification of metal transfer in GMA welding

Designation of transfer type	Examples of welding process
<ul style="list-style-type: none"> ● Free flight transfer (1) Globular <ul style="list-style-type: none"> - Drop - Repelled (2) Spray <ul style="list-style-type: none"> - Projected - Streaming - Rotating 	Low-current GMAW CO ₂ shielded GMAW Intermediate-current GMAW Medium-current GMAW
<ul style="list-style-type: none"> ● Bridging transfer - short-circuiting 	short-arc GMAW

호가스의 종류에 따라 크게 구분된다.

먼저 100%CO₂가스를 사용하는 CO₂용접에 있어서는 비교적 소전류-고전압에서 자유비행이행의 입상용적(粒狀熔滴, globular)이행 형태중 입적(粒滴, drop)이행 현상이 나타나고, 전류가 더욱 증가하면 반발(repelled)형태의 입상용적이행현상이 나타난다. 한편 활성(혼합)가스 및 순수 불활성 가스를 사용하는 MAG/MIG (Metal Active Gas/Metal Inert Gas) 용접의 경우 비교적 소전류-고전압에서는 CO₂용접과 동일한 입적(粒滴, drop)이행 현상이 나타나지만 대전류 영역에서는 스프레이(spray)이행 현상이 나타난다. 스프레이이행 현상은 용접전류 및 보호가스의 특성에 따라 와이어 선단에 형성된 용적 하나하나가 규칙적으로 이행하는 프로젝트드이행(projected transfer), 와이어 선단에서 작은 입자의 형태로 형성된 용적이 분사되는 것과 용융지로 흐르는 듯한 스트리밍이행(streaming transfer) 및 용융된 와이어의 선단부가 고속으로 회전하는 회전이행(rotating transfer) 등으로 나누어진다.

이와 같이 GMA용접에 있어서 용적이행현상은 용접전류-용접전압에 따라 교락이행 형태로부터 자유비행이행 형태로 변화하며, 이행이 변화하는 중간 과정에서는 천이영역이 존재하며, 이러한 구간에서는 순간단락(ISC : Instantaneous Short Circuit) 현상이 다발하는 불안정한 아크상태가 발생하며 이때 스파터 발생이 현저하게 된다.

2.2 용적이행현상에 미치는 여러 인자들의 영향

용적이행현상이 소전류 영역에서는 교락이행, 대전류 영역에서는 자유비행이행 형태를 나타낸

것은 용적에 작용하는 역학적인 힘의 균형에 기인한 것이다. 용적에 작용하는 주요한 힘은 용적과 와이어 사이에 형성되는 표면장력(F_s : surface tension), 아크 전류에 의하여 발생하는 전자기력(F_E : electromagnetic force), 용적자체의 중력(F_G : gravitational force) 등이며, 이들 힘은 용적이행을 조장하는 힘(F_d : detaching force)과 용적이행을 억제하는 힘(F_A : attaching force)으로 크게 구분되어진다.

Fig. 1 및 Fig. 2는 CO₂용접과 MAG용접에 있어서 용접전류 및 용접전압에 따른 용적이행현상의 변화를 아크전압 신호와 이행현상으로 나타낸 것이다. 소전류-저전압 영역에서는 용적이행을 억제하는 힘이 용적이행을 조장하는 힘을 능가하기 때문에 와이어 선단의 용적이 성장하여 용융지와 단락이 발생하고, 이로써 이행이 이루어지게 된다. 한편 대전류 영역에서는 용적에 작용하는 전자기력이 급격히 상승함에 따라 용적이 와이어 선단으로부터 이탈하여 자유비행하여 용융지로 이행이 이루어진다. 이러한 자유비행이행 현상에 있어서 용적에 작용하는 힘은 보호가스에 따라 크게 달라진다.

먼저 CO₂용접에 있어서는 보호가스 특성상 열적 핀치(thermal pinch)에 의하여 아크가 수축되어 용적의 하단에 아크가 집중하게 된다. 따라서 작용하는 전자기력은 용적을 떠받드는 방향으로 작용하기

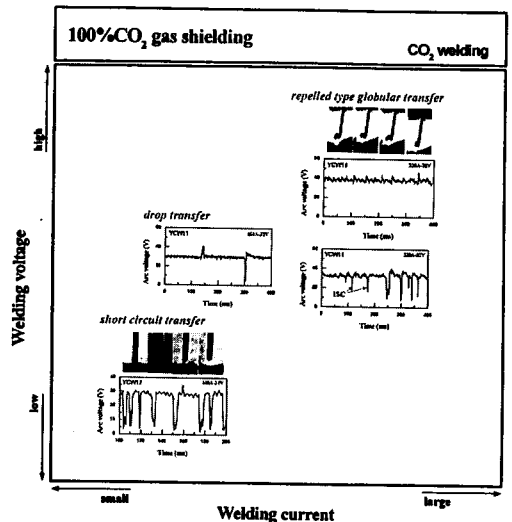


Fig. 1 Droplet transfer phenomena of CO₂ welding

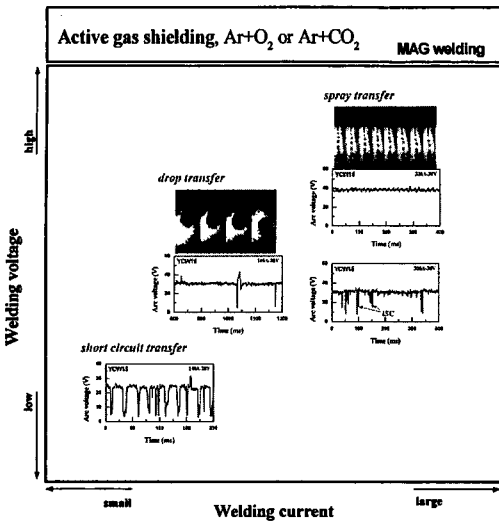


Fig. 2 Droplet transfer phenomena of MAG welding

때문에, 용적이행이 억제됨에 따라 성장한 용적이 부상하게 되어 용적이행현상이 반발형으로 이루어진다. 반면에 MAG/MIG용접에 있어서는 전자기력이 용적이행을 조장하는 방향으로 작용하기 때문에, 작은 용적으로 이행이 이루어지는 스프레이이행 현상이 나타나며, 아크가 매우 안정된다.

Fig. 3은 320A의 CO₂용접에 있어서 용접전압에 따른 스패터 발생특성과 용적이행현상의 변화를 나타낸 것이다. 용접전압이 32V로부터 증가함에 따라 용적이행현상은 순간단락현상이 점점 감소하여 38V에서는 안정된 반발형 이행현상의 아크전압 거동을 보이고 있다. 반면에 스패터 발생특성은 36V의 용접전압 범위에서 스패터 발생이 최소화되고 그 이상 및 그 이하로 용접전압이 변화하면 증가하는 경향을 보이고 있으며, 특히 아크신호가 안정된 특성을 나타내는 38V 범위의 용접조건에서는 스패터 발생량은 현저하지는 않지만 스패터가 대립화되는 경향이 현저하다. 따라서 스패터 발생 측면에서 안정된 용접조건은 34~36V 범위임을 알 수 있다. 이와 같이 스패터 발생을 최소화할 수 있는 최적 용접조건은 용접재료의 종류, 용접전원 등에도 의하여 크게 차이를 보일 수 있으므로, 용접작업의 관리를 위하여는 각 용접전류에 의하여 결정되는 용적이행현상과 스패터 발생특성에 대한

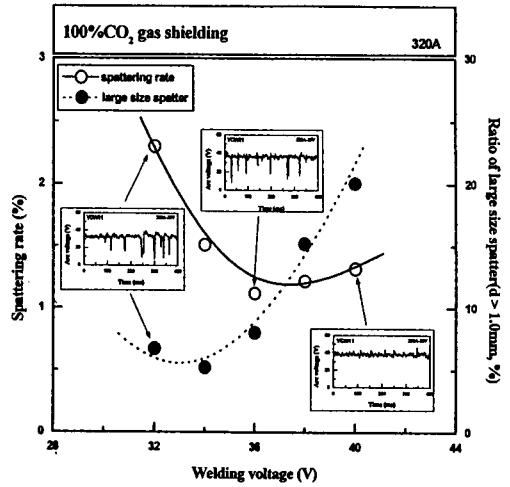


Fig. 3 Effect of welding voltage on spattering characteristics and droplet transfer phenomena

면밀한 검토를 통하여 적정 용접조건을 설정·관리하는 것이 중요하다 하겠다.

3. 맺음 말

GMA용접의 용적이행현상은 아크 안정성 및 스패터 발생 특성 등에 직접적으로 영향을 미침에 따라, 그의 안정성은 용접 생산성 및 용접부 품질과 상관성이 있다.

또한 용적이행현상은 전술한 바와 같은 용접전류, 용접전압 및 보호가스 뿐만 아니라, 용접전압, 용접재료의 화학성분 및 용접전원의 제어특성에도 크게 영향을 받는다.

최근 용접 생산성 향상 및 고품질 용접부를 얻기 위하여 용접재료 및 용접전원 측면의 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 특히 용접재료 측면의 저스패터형 용접재료 개발과 용접전원 측면의 아크 안정성을 향상시킬수 있는 AI, Fuzzy제어, 출력과형제어형 전원 개발 등은 용접 생산성 향상과 직접적인 상관성이 있는 용접기술로서 주목할 필요가 있다.