

펄스 마그용접에 있어서 파형 제어와 용접 특성

조상명

Waveform Control and Weldability in the Pulse MAG Welding Process

S. M. Cho



조상명/1955년생/부경
대학교 재료공학부/용접
공정개발, 용접자동화,
자동품질평가

2. 펄스 마그용접의 원리

1. 서 언

솔리드 와이어를 적용하는 가스 금속 아크용접 즉 GMAW(Gas Metal Arc Welding)는 슬래그와 푼(fume)이 거의 없어서 작업 환경이 청결하며, 강성이 높아서 와이어 송급 특성이 좋고, 용착효율이 높고, 가격이 상당히 저렴한 등의 이유 때문에 로봇 용접과 같은 자동 생산 라인에서는 가장 많이 이용되고 있는 용접법이다. 그러나, 용접시 스파터가 심한 것 때문에 제품의 외관이나 환경 오염 등의 문제가 생긴다. 특히 현장에서는 스파터가 부착하는 노즐과 컨택팁의 관리 문제 때문에 완전 무인화가 곤란한 실정이고, 전체적인 생산 라인의 정지가 자주 일어나게 되어 있어서 대규모 생산 라인에서는 무엇보다도 스파터와의 전쟁을 하고 있을 정도이다.

GMAW중에서 실드 가스를 Ar80%+CO₂20%의 혼합가스로 하는 MAG(Metal Active Gas)용접에서는 중대전류 영역에서 스프레이 이행이 얻어지며, 이러한 스프레이 이행에서는 스파터가 현저하게 감소되는 특성이 있다.

최근에는 이러한 스프레이 이행을 저전류 영역에까지 일어나도록 하여 스파터를 현저하게 감소시킨 펄스 용접 즉 펄스MAG용접을 박판 용접 분야에 적용하여 상당한 효과를 보고 있어서 이에 대한 기술적 동향을 살펴보았다.

2.1 펄스 파형의 기본적인 정의

Fig. 1은 펄스 전류 파형을 정의하기 위하여 활용되는 각종 용어를 나타낸 것으로서 다음과 같은 의미를 가진다.

- Ib : 베이스 전류, A
- Ip : 피크 전류, A
- Tb : 베이스 시간, sec.
- Tp : 피크 시간, sec.
- Tup : 베이스 전류에서 피크 전류까지 전류가 상승하는데 걸리는 시간, sec.
- Tdw : 피크 전류에서 베이스 전류까지 전류가 감소하는데 걸리는 시간, sec.

Fig. 1에서 피크 전류 Ip가 흐르는 피크 시간 Tp동안에 용적은 와이어 끝에서 맺혀서 높은 전자기적 편차력에 의하여 탈락을 시작한다. 이어서 Tdw시간과 Tb시간의 초반기에 걸쳐서 용적은 완전히 용융지로

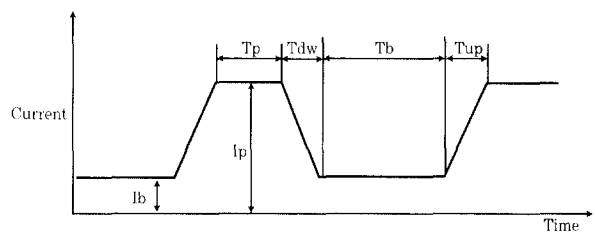


Fig. 1 펄스 전류 파형의 기본적인 정의

이행하도록 의도된 것이 펄스MAG용접이다. 이렇게 용적을 이행시키면 펄스 파형 하나에 용적 하나가 이행되는 1펄스 1드롭의 이행이 얻어진다.

2.2 스프레이 이행을 유도하는 펄스 파형

Fig. 2는 GMAW에서 실드가스중에 함유된 탄산가스의 혼합비에 따라 스프레이 이행이 얻어지는 임계 전류를 나타낸 것이다. MAG용접에서는 임계 전류가 약270A이상의 값을 가지는 것으로 되어 있고, CO₂가스의 혼합비가 27%이상으로 많아지면 스프레이 이행은 얻어지지 않게 됨을 알 수 있다.

따라서 펄스 MAG용접시의 피크 전류 Ip는 이 임계 전류 보다 높은 값을 가져야만 1펄스 1드롭의 정렬된 이행을 얻을 수 있다. 이렇게 피크 전류를 크게 하고 베이스 전류를 낮게 하면 평균 전류가 작은 영역에서도 스프레이 이행을 얻을 수가 있어서 저 스패터의 효과를 얻을 수가 있는 것이다.

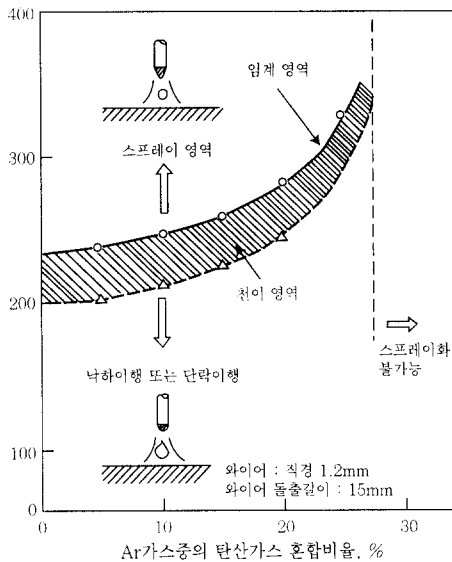


Fig. 2 실드가스의 조성에 따른 스프레이 이행 임계 전류의 변화

3. 펄스 MAG용접에서의 파형 제어

3.1 기본적인 펄스 파형 제어의 원리

Fig. 3은 펄스 전류의 파형 즉 피크 전류의 크기 Ip와 시간Tp에 따라 1펄스당 이행되는 용적의 숫자가 달라짐을 나타낸 것이다. 적당한 크기의 Ip보다 큰 피크 전류와 긴 Tp가 되면 1펄스당 n드롭이 얻어져서 언더컷이 심해지거나 아크가 불안정하게 된다. 그러나 Ip가 너무 작거나 Tp가 너무 짧게 되면 1펄스당 1드롭이 얻어지지 못하고 하나의 이행을 얻기 위하여 1펄스

펄스조건	이행 상태
높은 Ip, 긴 Tp 	1펄스 다용적 *아크길이 커져서 언더컷 발생 *아크길이 짧으면 단락이행 및 아크불안정
	1펄스 1드롭 양호한 프로젝트 이행
	1펄스 이상에서 1드롭 단락과 낙하이행으로 스패터 다발

Fig. 3 펄스 전류 파형의 형상과 이행 특성의 관계

스 이상의 전류가 흘러야 하므로 용적이 커져서 낙하이행으로 되거나 불안정한 단락이 일어나서 심한 스패터가 발생하게 된다.

이러한 경향에 대하여 발상을 역으로 해보면, 같은 크기의 피크 전류와 피크 시간이라 하더라도 용접 와이어 즉 용적의 특성에 따라서 다른 이행 특성을 보일 수 있음을 알 수 있다. 즉 일정한 펄스 전류 파형으로 펄스MAG용접을 하도록 설정되어 있다고 하더라도 원래보다 용적의 표면장력이 작고 유동성이 우수하며 점성이 작아서 스프레이 이행 특성이 우수한 와이어를 쓰게 되면 1펄스 n드롭의 이행으로 될 것이다. 반대로 용적의 표면장력이 크고 점성이 크며 유동성이 나빠서 스프레이 이행 특성이 나쁜 와이어를 쓰게 되면 1드롭을 얻기 위하여 n펄스를 적용해야 하므로 낙하이행이 불규칙적으로 생기고 단락이 발생하면 심한 스패터가 생기게 되며, 비드의 외관이 불규칙적으로 된다.

Fig. 4는 같은 펄스 전류 파형 즉 Ip=460A, Tp=1.5msec.일 때에 용접 와이어를 달리 썼을 때의 비드 외관을 나타낸 것이다. 스프레이 이행용인 국산 YGW15를 썼을 때는 정상적인 비드 외관이 얻어졌지만, YGW14를 쓴 (a)의 경우는 비드 폭이 불규칙적이다.

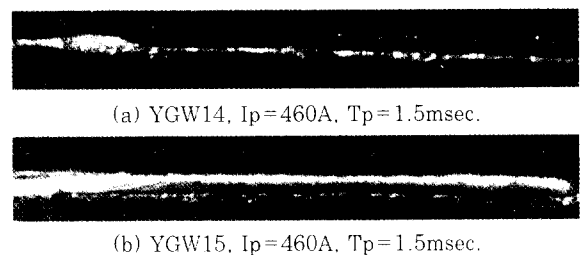


Fig. 4 동일 펄스 전류 파형일 때 와이어의 종류가 비드 형상에 미치는 영향

3.2 고속 펄스 MAG용접에서의 문제점

고속 용접에서도 스패터를 줄이기 위해서는 스프레이 이행만에 의해서 정확한 1펄스 1드롭을 실현하는 것이 좋지만, 이를 위해서는 아크 전압을 높게 하여 아크 길이를 상당히 길게 해야 한다.

Fig. 5는 같은 용접 조건으로 고속용접을 실시하였을 때 생기는 문제점을 검토하기 위하여 나타낸 비드 외관이다. 고속용접을 위해서는 평균 전류를 높여야 하고, 스패터를 방지하기 위하여 평균 아크 전압을 어느 정도 높게 해야 하는데, 이것 때문에 아크력이 커지고 고속용접으로 인하여 입열량이 작아져서 용융지의 깊이가 얇아지고, 이로 인하여 용접속도가 200cm/min에서는 험핑 비드가 발생하였다.

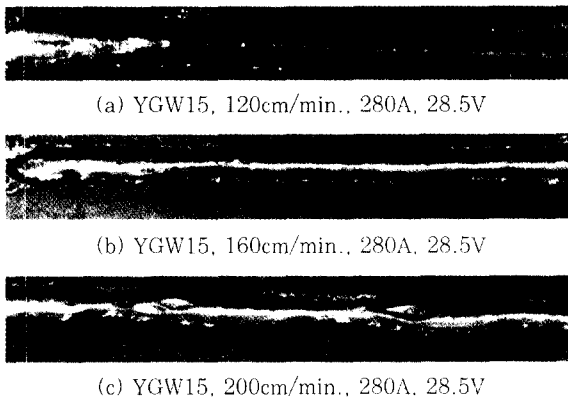


Fig. 5 펄스 MAG용접에서 용접 속도에 따른 비드 형상

Fig. 6은 같은 용접속도 160cm/min의 조건으로 용접하였지만, 아크 전압을 높게 하였을 때 나타나는 비드의 외관을 보인 것이다. 아크 전압이 높아지면 아크력의 증가에 의하여 고속 용접에서는 험핑비드가 쉽게 발생함을 알 수 있는 좋은 예이다.

생산성 향상을 위하여 용접속도를 증가시키려면 평균 전류를 높이면서 용접해야만 와이어의 고속 송급과 고용착속도를 얻을 수 있다. 그러나 용융지의 깊이는 그다지 크지 않게 되므로 아크력이 커지면 쉽게 험핑 비드가 생길 수 있게 되는 것이다. 즉 펄스 MAG용접에서는 아크 길이를 길게 해야만 정확한 1펄스 1드롭의 스프레이 이행이 얻어지는데, 이 때문에 아크력이 커지고 쉽게 험핑 비드가 생기는 부작용이 따른다.

3.3 고속 펄스 MAG용접에서 단락 파형 제어의 중요성

고속 용접의 필요성이 대두된 것은 용접 자동화로 생산성을 현저하게 향상시키는 것이 요구되면서부터일 것이다. 펄스 MAG용접에서도 스패터를 줄이면서 고

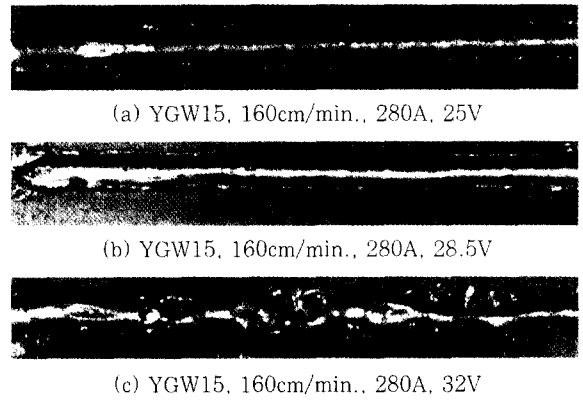


Fig. 6 고속 펄스 MAG용접에서 아크 전압에 따른 비드 외관의 변화

속으로 용접하기 위해서는 아크력을 감소시켜야 하는데, 이를 위해서는 아크 전압을 낮게 해야 하며 이것 때문에 아크 길이가 짧아져서 펄스 MAG용접에서도 단락 이행의 동반은 불가피하게 된 것이다.

Fig. 7은 최근 국내에서 개발된 고속 펄스 MAG용접기에서 얻은 펄스 파형으로서 와이어 송급속도에 비하여 평균 전압을 높게 유지하였기 때문에 단락이 발생하지 않은 예를 보인 것이다. 이 용접기는 최신의 고속 DSP(Digital Signal Processor)에 의하여 정전류 제어를 실현하였기 때문에 매우 정돈된 형태의 전류 파형이 얻어졌음을 알 수 있다. 전술한 바와 같이 동일한 펄스 파형으로 용접하더라도 용접 와이어의 특성에 따라 최적의 파형 모양이 변화하게 되는 경향을 고려하여 쉽게 피크 전류와 피크 시간을 변경시킬 수 있도록 설계된 것이 특징이다.

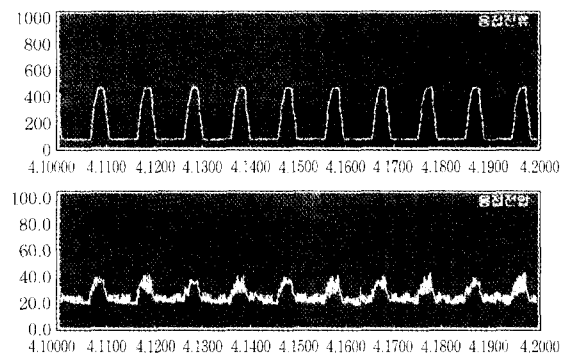


Fig. 7 높은 아크 전압에 의해 단락이 생기지 않는 펄스 파형(와이어 송급속도 5m/min, 160A, 24V)

Fig. 8은 동일한 모델의 펄스 MAG용접기에 의한 파형으로서 평균 전압을 낮게 유지하여 단락이 수반된 것이다. 여기서는 0.05초동안에 5회의 단락이 발생하여 평균 단락 회수로 환산하면 100회/sec의 단락 주파수를 가지고 있다. Fig. 8에서 최초 단락의 경우는

순간 단락으로 판단하였기 때문에 전류 파형은 원래의 펄스 파형을 그대로 유지하고 있다.

한편, 단락이 발생하면 단락해소를 위한 파형 제어를 적절히 해야만 아크 안정성이 나빠지지 않는다. 또한 단락이 해소된 직후 아크 재점화로 인한 스파터를 줄이기 위해서도 파형 제어를 고속으로 적절히 해야할 필요성이 대두되며, 본 용접기는 이러한 단락제어를 적절히 구현시킨 것이다.

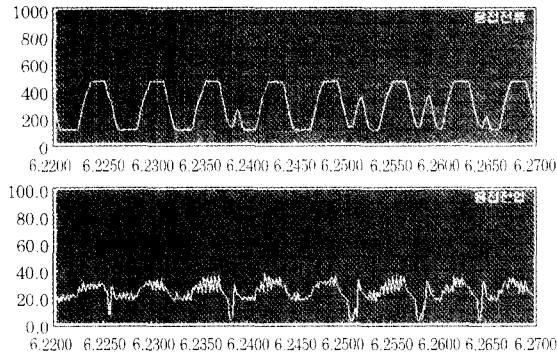


Fig. 8 낮은 전압으로 인하여 단락이 생기는 펄스 파형(와이어 송급속도 : 9m/min, 270A, 24V)

4. 결 언

본 강좌에서는 펄스 MAG용접을 통하여 스파터를 감소시키면서 생산성 향상을 위하여 고속 용접을 실현시켜야 하는 필요성 때문에 개발된 고속 펄스 MAG용접 기술에 대하여 다루었다.

단락을 수반하지 않는 펄스 MAG용접에서는 완전한 스프레이 이행만에 의한 1펄스 1드롭을 구현시킬 수 있고, 스파터도 상당히 감소된다. 그러나 고속 용접을 실시하기 위해서는 험핑 비드의 방지가 또 다른 과제이며, 이를 해결하기 위해서는 아크 전압의 하향조정과 아크 길이의 감소가 불가피하다. 따라서 고속 용접에서는 단락이 반드시 수반되는 펄스 용접을 행하게 되고, 이로 인하여 단락 파형 제어가 필요하고 그 특성이 고속 펄스 MAG용접기의 성능을 좌우하게 되었다.

자동 생산 라인에서의 아크 용접은 품질과 생산성 부분에서 모두 개선의 여지가 많은 공정으로 인식되고 있다. 최근의 펄스 MAG용접에서는 스파터를 감소시키면서 고속 용접을 할 수 있도록 하는 파형 제어 기술이 비교적 잘 개발되고 있어서 금후 보다 좋은 응용이 기대된다.