研究論文

아르곤 가스를 효율적으로 사용하기 위한 GMA 용접 토치 구조
Part 2 : AMAG와 DMAG 공정의 비교

문 명 철* · 고 성 훈** · 유 중 돈**

* (주)NextEye 연구부

** 한국과학기술원 기계공학과

GMA Torch Configuration for Efficient Use of Argon Gas
Part 2 : Comparison between AMAG and DMAG Process

M.C. Moon*, S.H. Ko** and C.D. Yoo**

* Vision Ressearch, NextEye. Inc., Kyunggido 135-080, Korea

** Dept. of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Taejon 305-601, Korea

Abstract

The auxiliary gas-shielded MAG (AMAG) process, which was devised to provide an argon-rich shielding environment using small amount of argon gas, was investigated experimentally to figure out its effects on metal transfer and weld quality. Proper conditions for the AMAG process including the argon gas ratio, position and direction of the auxiliary nozzle were determined experimentally. Performance of the AMAG process was compared with that of the double gas-shielded MAG (DMAG) and MAG processes by monitoring the bead profile, current and voltage waveforms. The AMAG process was found to provide better bead profile, more stable arc and wider operating range of spray transfer mode compared with the DMAG process. In general, performance of the AMAG process using the argon ratio of 30% was comparable to that of the MAG process using 80% argon and 20% CO_2 gas.

(Received May 10, 1999)

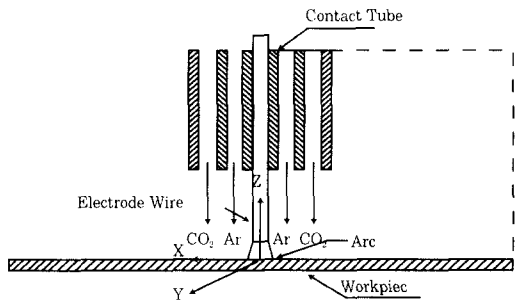
Key Words : Auxiliary gas-shielded MAG (AMAG), Double gas-shielded MAG (DMAG), Metal transfer, Arc stability, Bead profile, Argon composition

1. 서 론

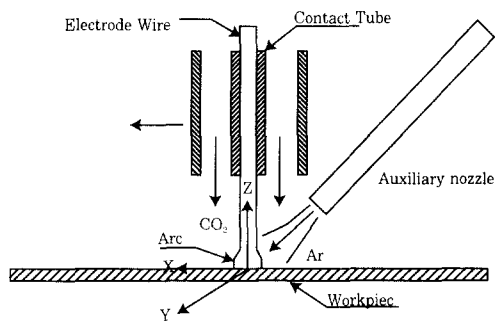
GMA 용접에서 분위기 가스로 사용되는 가스의 종류는 아르곤, 헬륨, CO_2, O_2 등으로 다양하며, 이와 같은 가스를 단독 또는 혼합하여 사용하고 있다. 아크 용접에서 분위기 가스의 역할은 매우 복잡하기 때문에 아크와 용융풀에 미치는 영향에 대한 연구는 주로 실험적인 방법을 통하여 수행되었고, 사용하는 가스의 종류와 혼합 비율에 따라 아크 안정성, 금속이행 모드 및 비드 형상이 변화하므로 목적에 따라 적절한 혼합 가스를 사용한다[1-3]. 현재 GMA 용접에 널리 사용되는 대표적인 분위기 가스로 CO_2와 아르곤 가스를 들 수 있으며, 국내의 경우 CO_2 가스의 가격이 저렴하므로 100% CO_2 가스를 사용하는 경우가 많다. 혼합가스를 사용하는 경우, 아르곤과 CO_2 가스를 80:20의 비율로 혼합하여 사용하는 경우가 대표적이다.

적은 양의 아르곤 가스를 사용하여 아르곤 조성(argon composition)이 높은 혼합 가스를 얻기 위한 GMA 토치 구조로 Fig.1에 보인 DMAG (Double gas-shielded MAG) 토치와 AMAG (Auxiliary gas-shielded MAG) 토치를 들 수 있다[4~6].

Fig.1(a)의 DMAG 토치를 사용하면 적은 양의 아르곤 가스를 사용하여 아크 주위의 아르곤 조성을 증가시킬 수 있지만, 용접시 노즐의 내부에 부착하는 스패터에 의하여 가스 흐름이 방해 받기 때문에 혼합 가스의 조성이 불안정하게 되는 단점이 있다[4,5]. DMAG 토치의 단점을 보완하여 Fig.1(b)에 보인 바와 같이 보조 노즐 (auxiliary nozzle)을 부착한 AMAG 토치를 제안하였으며, 동일한 조건에서 DMAG 토치에 비하여 분위기 가스의 아르곤 조성을 높일 수 있음을 보였다[6].



(a) DMAG torch



(b) AMAG torch

Fig.1 Schematics of DMAG and AMAG torch

DMAG 공정은 Masumoto[4,5] 등에 의하여 이미 자세히 보고 되었으므로, 본 연구에서는 실험을 통하여 AMAG 공정의 적정 조건을 선정하고 DMAG와 MAG 공정과의 성능을 비교하는데 중점을 두었다. 아르곤과 CO_2 가스를 사용하는 AMAG 공정에서 보조 노즐의 위치와 방향 및 아르곤 가스의 비율 등에 대한 적정 조건을 결정하였다. AMAG와 DMAG 토치의 성능을 비교하기 위하여 용접전류와 전압 및 비드 형상을 측정하였으며, 이를 통하여 토치가 아크 안정성과 금속이행 모드 및 용융부에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, AMAG 공정을 아르곤 80%와 CO_2 20%의 혼합가스를 사용하는 MAG 공정과 비교하였다.

2. 실 험

실험에 사용한 용접 시스템과 측정 시스템을 Fig.2에 나타내었다. 용접 토치는 3축 로봇에 의하여 이동하며, 용량 350A의 정전압 인버터 용접기 (LG 산전)를 사용하였다. 용접전류와 와이어 송급속도는 홀 (hall) 센서와 타코미터 (tachometer)를 이용하여 측정하였다. 와이어 송급속도, 전류와 전압의 아날로그 신호를 저주파 통과 필터를 이용하여 고주파 성분을 감소시키고 1000 Hz의 주파수로 샘플링 (sampling)하여 PC에 저장하였다. 전체 가스 유량과 내부 노즐과 보조 노즐을 통하여 분사하는 아르곤 가스의 비율을 변화시키며 실험하였다. 직경 1.2mm의 강 와이어인 YGW-15를 사용하여 두께 6mm인 SS41 강판에 비드 용접 (bead-on-plate welding)을 하였다. 용접속도는 130cm/min이며, CTWD (contact tip to

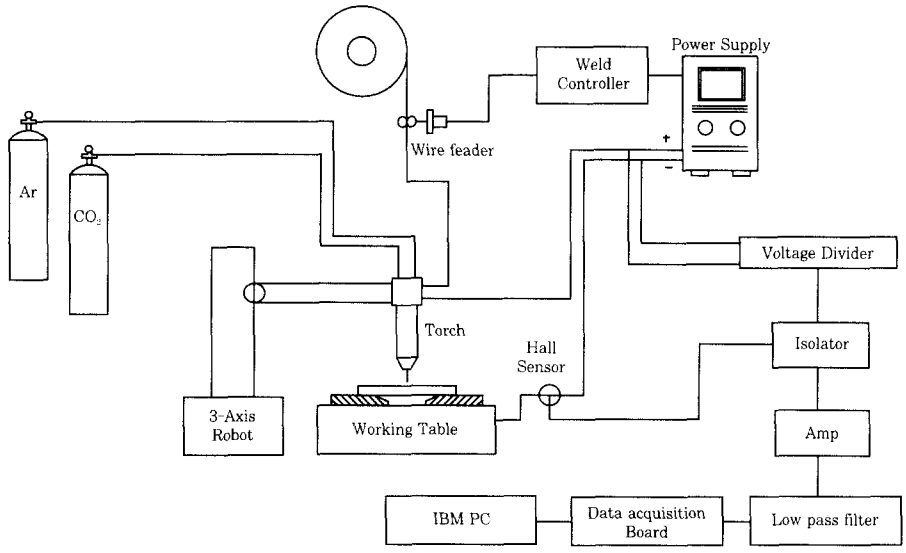


Fig. 2 Schematics of experimental setup

workpiece distance)는 19mm로 고정시켰다. 단락이행, 입상용적 및 스프레이 모드가 발생하도록 용접전류와 전압을 180-350A와 19-35V의 범위에서 변화시키며 용접하였다.

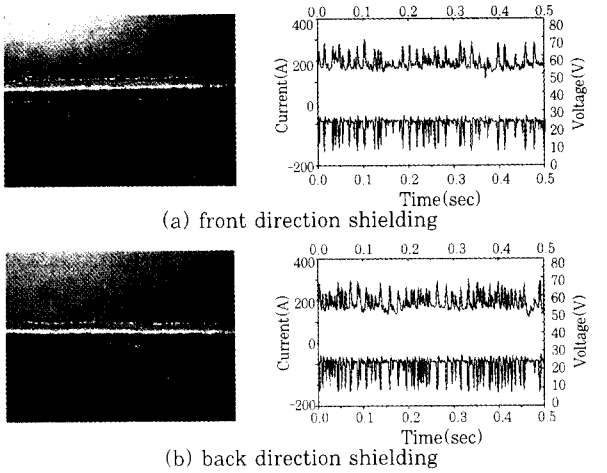
DMAG 토치를 제작하였고[6], AMAG 토치의 경우에는 내경 6.5mm인 구리 파이프를 외부 노즐로 사용하였다. 외부 노즐의 각도와 위치 및 가스 분사방향이 용접에 미치는 영향을 실험을 통하여 분석하였으며, 실험 결과로부터 AMAG 공정의 적정 조건을 선정하였다. 측정한 전류와 전압 파형 및 비드와 단면 형상으로부터 금속이행 모드와 아크 안정성 및 용접 품질을 판별하였고, 스패터의 발생 정도는 관찰에 의하여 정성적으로 판단하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 AMAG 공정의 적정 조건

AMAG 공정에서 분위기 가스의 아르곤 조성이 보조 노즐의 분사 방향, 위치와 각도에 따라 변화하므로, 이와 같은 조건이 아크와 용접부에 미치는 영향을 실험하였다. 보조 노즐 끝을 모재면의 중심으로부터 반경과 축 방향으로 각각 13mm 떨어진 위치에 고정하였고 (r=z=13mm), 보조 노즐이 모재면의 높이 방향으로 5mm 지점 (r=0, z=5mm)을 향하도록 각도를 고정하였다. 전체 가스 유량으로 20 liter/min, 보조 노즐에서 분사되는 아르곤 가스의 체적 비율로 30% (6 liter/min)를 기준값으로 사용하였다.

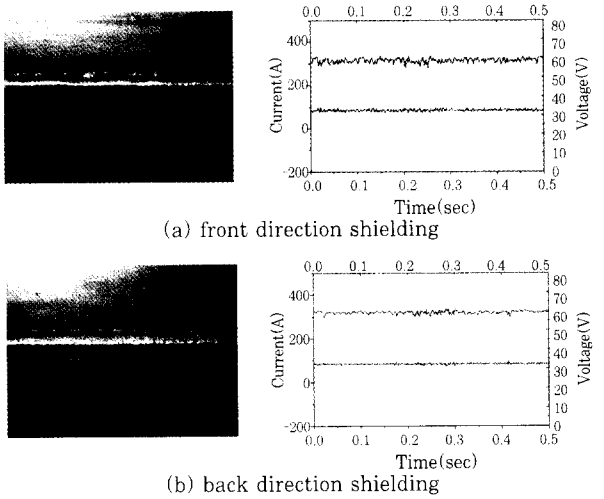
보조 가스의 분사 방향에 따른 영향을 평가하기 위하여 용접전류를 300A, 용접전압을 24V와 32V로 설정하여 단락이행과 스프레이 모드가 발생하는 조건에서 보조 노즐을 토치 진행 방향의 전방과 후방에 위치시키고 용접한 결과를 Fig.3과 4에 나타내었다. 단락이행 모드가 발생하는 경우 (Fig.3), 전방과 후방 분사의 용융부 형상이나 용접전류와 전압의 파형은 대체로 유사하였으며, 후방분사의 경우 단락 주파수가 약간 증가하므로 단락이행의 안정성이 약간 증가하는 것을 알 수 있다. 스프레이 모드에서 (Fig.4), 전방 분사의 경우에는 비드 형상이 불균일하고 언더컷 (undercut)이 발생하였다. 후방분사는 전방 분사에 비하여 양호한 비드 형상과 안정된 전류와 전압 파형을 얻을 수 있었다. 이는 후방분사 조건에서 용융풀 표면의 아르곤 조성이 전방에 비하여 높기 때문인 것으로 추정되며[6], 아르곤 조성이 단락이행 모드에 비해 스프레이 모드에서 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이와 같은



(a) front direction shielding

(b) back direction shielding

Fig. 3 Effects of shielding direction in short-circuit mode for AMAG process (20 liter/min, Ar ratio = 30%, CTWD = 19mm, 300A, 24V)



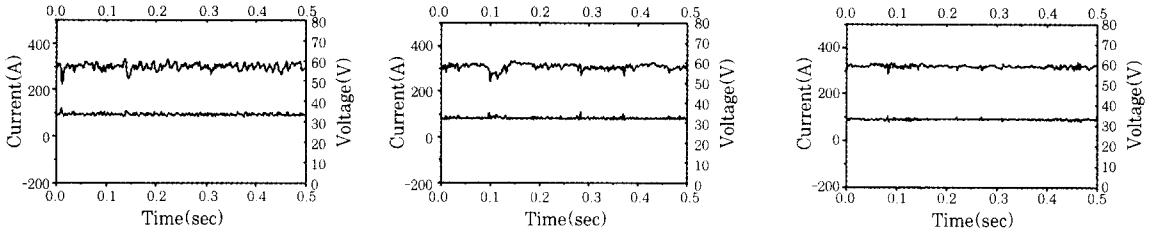
(a) front direction shielding

(b) back direction shielding

Fig. 4 Effects of shielding direction in spray mode for AMAG process (20 liter/min, Ar ratio = 30%, CTWD=19mm, 300A, 32V)

결과로부터 향후 AMAG 용접 실험은 후방분사를 사용하였다.

후방분사시 보조 노즐의 위치와 각도가 미치는 영향에 대하여 스프레이 모드가 발생하는 용접조건에서 실험하였다. 모재면에 대한 보조 노즐의 각도를 45°로 고정시키고, 보조 노즐이 모재면의 중심을 향하는 경우 (z=0mm)와 보조 노즐의 높이를 2.5와 5mm로 증가하는 경우에 측정한 전류와 전압파형을 Fig.5에 나타내었다. 보조 노즐의 높이가 증가할수록 전류와 전압 파형이 양호하였으며, (z=0mm)인 경우에는 스패터가 많이 발생하였다. 이 결과로부터 아크 안정성과 용접 품질이 보조 노즐의 높이에 민감하게 영향을 받으며, 스패터를 감소시키고 안정된 아크를 얻으려면



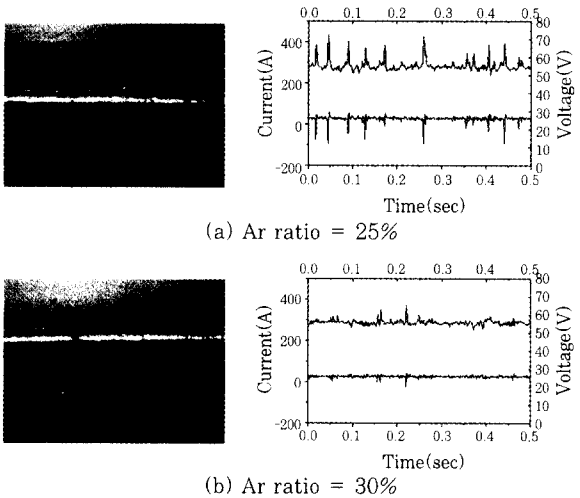
(a) z = 0mm (b) z = 2.5mm (c) z = 5mm

Fig. 5 Effects of auxiliary torch height for AMAG process (20 liter/min, Ar ratio = 30%, CTWD = 19mm, 300A, 32V)

보조노즐의 높이를 증가시켜 용융풀의 표면과 함께 용적을 포함하는 아크에서의 아르곤 조성을 높이는 것이 중요하다는 사실을 알 수 있다. 보조 노즐의 높이를 (z=5mm)의 지점을 향하도록 고정시키고 노즐 각도를 모재면에서 15°, 30°, 45°로 변화시키는 경우에 스패터 발생 정도, 비드 형상, 전류와 전압 파형은 유사하였다. 보조 노즐의 분사 각도가 용접에 미치는 영향은 매우 작기 때문에, 향후의 실험에서 보조 노즐이 (z=5mm)의 지점을 향하도록 하였다.

보조 노즐을 통하여 분사되는 아르곤 가스의 비율이 용접에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 전체 가스 유량이 20 liter/min 인 경우에 아르곤 가스의 비율을 변화시키며 실험하였다. 저전압의 단락이행 모드에서 아르곤 가스의 비율을 15-30% 범위에서 변화시켜도 아르곤 가스의 비율과 무관하게 비드 형상은 유사하였지만, 아르곤 가스의 비율이 증가하면 단락 주파수가 증가하므로 상대적으로 안정된 금속이행을 얻을 수 있었다. 용접전압이 26V 이상으로 증가하면 스프레이 모드가 발생하며, Fig.6에 보인 바와 같이 30%의 아르곤 가스의 비율을 사용하면 25%인 경우에 비하여 단락 횟수가 감소한 안정된 전류와 전압 파형과 양호한 비드 형상을 얻을 수 있었다. 금속이행 모드에 따라 약간의 차이가 있지만, 일반적으로 전체 유량의 30% 정도의 아르곤 가스를 사용하면 모든 금속이행 모드에서 양호한 전류와 전압 파형 및 비드 형상을 얻을 수 있었으며, 스프레이 모드가 단락이행 모드에 비하여 아르곤 조성에 크게 영향을 받았다.

전체 가스 유량의 영향을 알아보기 위하여 보조 노즐의 아르곤 가스 비율을 30%로 고정하고 전체 가스 유량을 15, 20, 25 liter/min으로 변화시키며 실험하였다. 저전압의 단락이행 모드에서 가스 유량이 변화하여도 비드 형상은 유사하였으며, 전체 가스 유량이 20 liter/min 인 경우에 단락 주파수가 가장 높았다. 전압을 26V 이상으로 증가하면 스프레이 모드의 전류나 전압 파형은 유사하지만, 15 liter/min 의 경우에는 언더컷이 증가하고 비드 폭에 대한 높이의 비가 증가



(a) Ar ratio = 25%

(b) Ar ratio = 30%

Fig. 6 Effects of Ar gas ratio for AMAG process (20 liter/min, CTWD = 19mm, 300A, 26V)

하였다. 그러므로 전체 가스 유량으로 20 liter/min을 사용하는 것이 합리적이다.

AMAG 토치를 이용한 실험 결과로부터 다음과 같은 AMAG 공정의 적정 조건을 얻을 수 있었다. 아르곤 가스를 후방분사하는 것이 전방 분사에 비하여 바람직하며, 보조 노즐의 각도는 높이에 비하여 큰 영향을 미치지 않았다. 보조 노즐의 위치로서 노즐의 끝이 모재 표면에서 반경과 축 방향으로 각각 13mm 떨어진 위치에서 모재면에서 5mm 높이의 지점을 향하도록 (z=5mm) 노즐의 각도를 조절하는 것이 바람직하다. 전체 가스 유량으로 20 liter/min, 보조 노즐에서 분사하는 아르곤 가스 비율로 30%를 사용하는 것이 적절하였다.

3.2 AMAG와 DMAG 공정의 비교

앞절에서 기술한 AMAG 공정의 적정조건으로 용접한 결과를 DMAG 공정과 비교하였다. 전체 가스 유량은 20 liter/min이고, 외부와 보조 노즐에 공급되는 아르곤 가스는 30%로 동일하다. 측정한 전류, 전압

파형과 단락 주파수로부터 금속이행 모드를 판별하였다. 단락 주파수가 20Hz 이상인 경우에는 단락이행 모드, 단락 주파수가 5Hz 이하인 경우에는 입상용적 또는 스프레이, 단락 주파수의 범위가 5-20Hz 인 경우에는 혼합모드로 구분하였다. 입상용적과 스프레이 모드는 천이전류와 전류 전압의 변동폭 및 아크 음을 통하여 구분하였다.

AMAG와 DMAG에서 전류와 전압에 따른 금속이행 모드를 Fig.7에 나타내었다. 금속이행 모드가 발생하는 영역과 추세는 유사하였으며, 단락이행 모드는 26V 이하에서 발생하였다. 입상용적 모드는 26V 이상 250A 이하에서, 스프레이 모드는 250A 이상의 전류 영역에서 발생하였다. AMAG의 경우에 DMAG에 비하여 스프레이 모드가 발생하는 영역이 약간 증가하며, 이는 AMAG의 아르곤 조성이 증가하기 때문이다 [6].

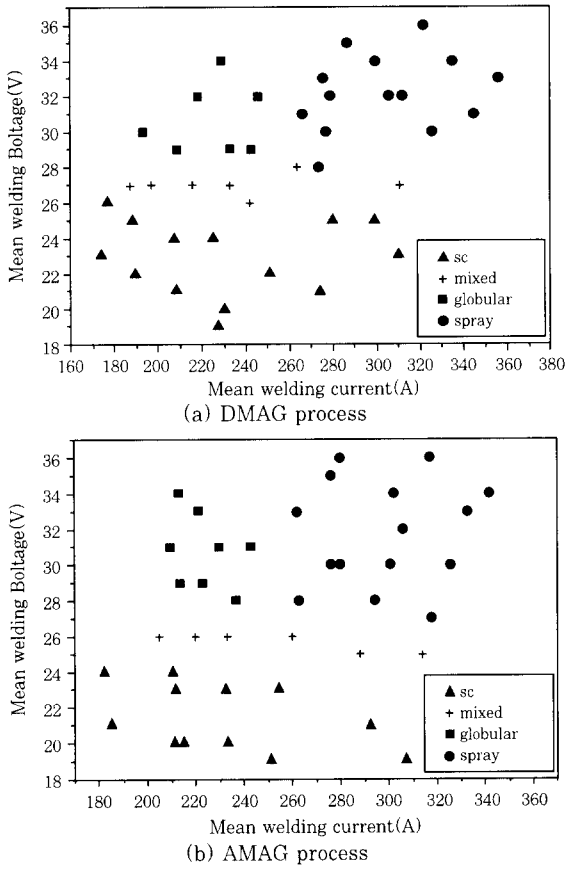


Fig. 7 Metal transfer modes of DMAG and AMAG process (20 liter/min, Ar ratio = 30%, CTWD = 19mm)

용접전압이 26V인 경우, DMAG와 AMAG의 용접 전류와 전압 파형을 Fig.8에 나타내었다. DMAG 공정에서 단락이행 모드가 발생하지만 AMAG 공정의 경우에는 스프레이 모드가 발생하였으며, AMAG의 비드 형상이 DMAG 보다 양호하였다. 이는 DMAG 공정에서 분위기 가스의 아르곤 조성이 AMAG 공정에 비하여 낮기 때문에 천이 전류가 증가하여 단락이행 모드가 발생하는 것으로 생각된다. 용접 전압을 24V 이하로 감소하면 단락이행 모드가 발생하며, AMAG의 단락 주파수가 DMAG에 비하여 약간 증가하지만, 비드 형상이나 전류와 전압 파형은 대체로 유사하였다.

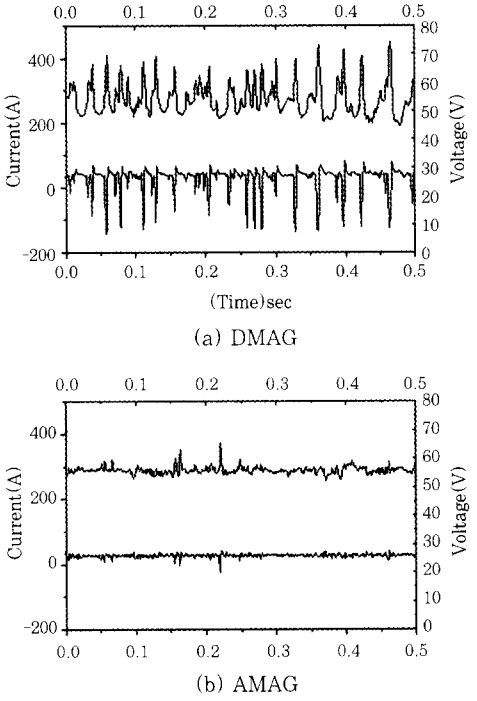
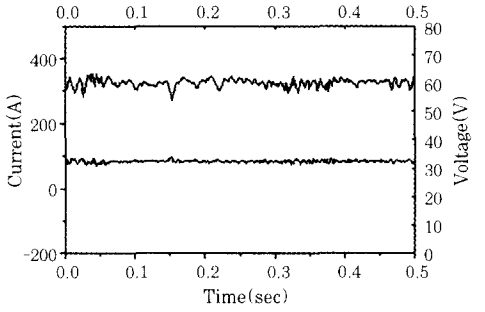


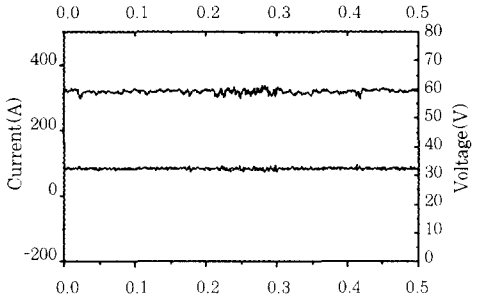
Fig. 8 Comparison of DMAG and AMAG process at welding voltage of 26V (20 liter/min, Ar ratio = 30%, CTWD = 19mm, 300A)

용접전압을 32V로 증가시켜 스프레이 모드로 용접한 결과를 Fig.9와 10에 나타내었다. Fig.9에 나타난 바와 같이 AMAG의 전류와 전압은 DMAG와 유사하며, 파형의 변동폭이 약간 감소하였다. 그러나 비드 형상과 단면은 Fig.10에 나타난 바와 같이 AMAG의 경우가 훨씬 양호하였으며, 약간의 언더컷이 발생하였다. 스프레이 모드에서 DMAG 공정의 비드가 불량한 이유는 명확하지 않으며, 분위기 가스의 조성이 불균일하기 때문인 것으로 추정된다. 또한, 스프레이 모드에서는 단락이행 모드와 달리 용융부의 전압과 전류 파형의 안정성과 비드 형상은 직접적인 연관이 없음을 알 수 있다.

아르곤 80%와 CO_2 20%의 혼합가스를 사용한 MAG 공정의 결과를 Fig.11에 나타내었다. MAG 공정을 사용하여 안정된 스프레이 모드의 전류와 전압 파형을 얻을 수 있었으며, 비드의 외관은 양호하고 MAG 용접의 비드 폭과 높이의 비율이 AMAG의 비

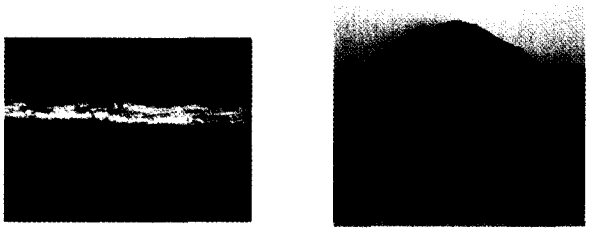


(a) DMAG

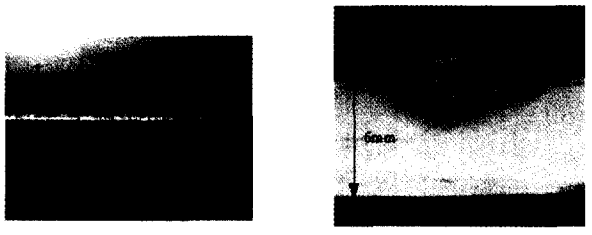


(b) AMAG

Fig. 9 Comparison of DMAG and AMAG process at welding voltage of 32V(20 liter/min, Ar ratio = 30%, CTWD = 19mm, 300A)



(a) DMAG

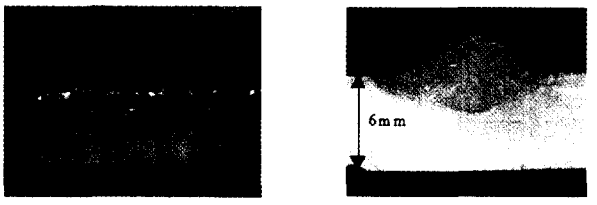


(b) AMAG

Fig. 10 Comparison of bead shape and cross section (20 liter/min, Ar ratio = 30%, CTWD = 19mm, 300A, 32V)

드에 비하여 증가하였다. 아르곤 가스를 30% 사용하는 AMAG 공정과 아르곤 가스를 80% 사용하는 MAG 공정의 결과를 비교하면 비드 형상, 전류와 전압 파형에 있어서 비슷한 결과를 얻을 수 있었으므로 AMAG 공정을 이용하여 아르곤 가스의 사용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

AMAG와 DMAG 토치는 아르곤과 CO_2 가스를 독립적으로 분사시켜 소량의 아르곤 가스를 이용하여 분위기 가스의 아르곤 조성을 증가시키는 공통점을 가지고 있다. 그러나 동일한 아르곤 가스의 비율을 사용하는 경우에 AMAG의 용접결과가 DMAG에 비하여 전류와 전압 파형 및 비드 형상이 양호하였으며 아크의 안정성을 향상시킬 수 있었다. 이와 같은 현상은 단락이행 모드보다 스프레이 모드에서 현저하게 나타나며, 이는 AMAG에서 와이어 끝을 포함하는 아크 영역의 아르곤 조성이 DMAG보다 높기 때문이다. DMAG 토치는 가스의 혼합비를 변화시키려면 내부 노즐의 가스 유량을 변화시켜야 하며, 토치 구조가 복잡하기 때문에 스패터 제거에 어려움이 있다. 이에 비하여 AMAG 토치는 보조 가스의 유량 이외에 보조 노즐의 위치를 변화시켜 가스의 혼합비를 변화시킬 수 있으며, 구조가 단순하기 때문에 보조 노즐에 스패터가 부착되어도 유지 보수가 용이하다. 그러나 좁은 공간이나 복잡한 형상의 구조물을 용접하는 경우, 외부 노즐에 의한 충돌이나 간섭이 발생할 수 있다. 또한 본 연구는 비드 용접에 대해서만 수행되었으므로 향후 다양한 조인트 (joint) 형상과 자세에 대하여 실험을 통한 연구가 요구된다.



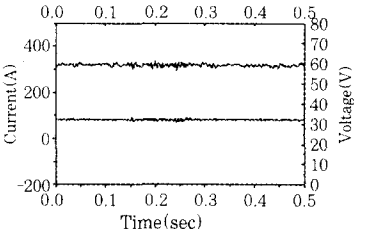


Fig. 11 Bead shape, current and voltage waveforms of MAG process (20 liter/min, Ar/CO_2 = 80/20, CTWD = 19mm, 300A, 32V)

4. 결 론

본 연구를 통하여 AMAG 공정의 적정 조건과 특성을 분석하였고, DMAG와 MAG 공정과 비교하였다. AMAG 공정의 적정 조건은 보조 노즐의 끝을 모재 표면에서 반경과 축 방향으로 각각 13mm 떨어진 위치에서 모재 표면에서 5mm 높이의 지점 (z=5mm)을

향하도록 노즐의 각도를 고정시키고 후방분사하는 것이 바람직하다. 보조 노즐의 각도는 용접에 큰 영향을 미치지 않지만 높이에 따라 크게 영향을 받는다. 그러므로 아크 안정성을 향상시키고 양호한 비드 형상을 얻으려면 용융풀의 표면 뿐만 아니라 와이어 끝을 포함하는 아크 영역에서의 아르곤 조성을 증가시키는 것이 필요하다. 전체 가스 유량이 20 liter/min 이고 30%의 아르곤 가스 비율을 사용하면 모든 금속이행 모드에서 아크의 안정성이 향상되었고 양호한 비드를 얻을 수 있었다. 일반적으로 스프레이 모드 영역에서 용접하는 경우에는 단락이행 모드에 비하여 AMAG의 조건에 대하여 민감하였다.

AMAG 공정은 DMAG 공정에 비하여 아크의 안정성이 증가하였고 양호한 비드 형상을 얻을 수 있었다. 이는 AMAG에서 분위기 가스의 아르곤 조성이 DMAG 보다 높기 때문으로 추정된다. 30%의 아르곤 가스를 사용하는 AMAG 공정은 80%의 아르곤 가스를 사용하는 MAG 용접과 유사한 효과를 얻을 수 있으므로 AMAG 공정을 이용하여 아르곤 가스를 효율적으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국학술진흥재단의 1998년도 과학기술기초중점연구 (1998-018-E00134)를 통하여 지원을 받았으며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. 접합 및 용접편람, 대한용접학회(1998)
2. N. Stenbacka, K.-A. Persson: Shielding gases for GMAW, Welding Journal, Vol.68, No.9(1989), pp.41-47
3. V.R. Dillenbeck, L. Castagno, The effects of various shielding gases and associate mixtures in GMAW of mild steel, Vol.66, No.9(1987), pp.45-49
4. I. Masumota, M. Kutsuna, M. Abraham, Metal transfer and spatter loss in double gas shielded metal arc welding, Transaction of the Japan Welding Society, Vol.19, No.2(1988), pp.38-44
5. I. Masumota, M. Kutsuna, M. Abraham, Metal transfer and spatter loss in double gas shielded metal arc welding using flux cored wire, Transaction of the Japan Welding Society, Vol.19, No.2(1988), pp.45-51
6. 최상균, 문명철, 유중돈: 아르곤 가스를 효율적으로 사용하기 위한 GMA 용접 토치 구조: Part 1- 토치 형상이 분위기 가스의 조성에 미치는 영향, 대한용접학회지, Vol.17, No.6(1999), pp.46~pp.52