

아크용접의 최신 고능률화 기술 개발

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 김영식
(ygskim@reseat.re.kr)

1. 서 언

아크용접은 여러 가지 용접법 중에서도 가장 보편화된 용접 기술이다. 이 용접법은 자동차, 조선 등의 수송기기 분야를 비롯하여 석유 화학분야, 에너지분야, 건축분야 등 각종 제조 산업에서 제조공정의 기반기술로 정착되어 있다. 이러한 아크용접의 고능률화를 위해 현재 용접전원은 디지털화로 고능률을 실현하고 스파터를 비롯한 각종 용접결함을 제어하는 기술이 발전되고 있으며, 또한 아크용접 로봇과의 접목을 통해 더욱 고도화 되고 있다.

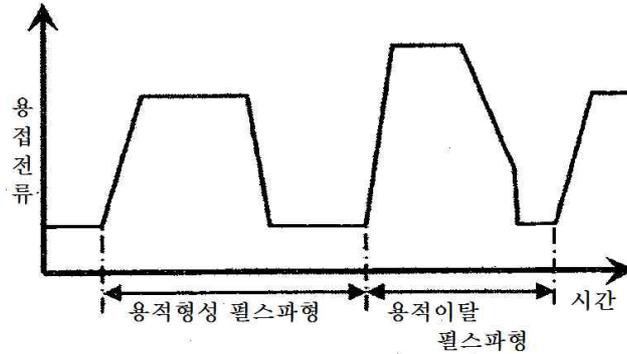
국내의 각종 제조업의 국제 경쟁력 강화를 위해서는 이들 산업의 기반공정인 용접공정의 능률과 생산성 향상 및 인건비절약을 위해 용접공정의 고능률화가 필수적이다. 또한 용접기능 숙련기술자의 인력부족과 고령화에 대응하기 위해서 용접공정의 자동화 및 로봇화와 그에 따른 용접품질관리 기술은 시급한 과제이다. 이 보고서에서는 아크용접의 비용 절감과 고능률화를 위해 현재 이 분야 기술 선진국에서 시행, 또는 개발되고 있는 아크용접법 별 고능률화 기술내용을 소개하고자 한다.

2. 탄산가스 아크 용접법에서의 고능률화 기술

아크용접 시의 용적이행 형태는 일반적으로 스프레이(spray)이행, 입상용적(globular)이행, 단락(short circuit)이행 형태로 구분된다. 이 중에서 조선현장에서 실드가스의 가격이 저렴하여 가장 많이 사용하고 있는 탄산가스 아크용접에서는 입상용적이행 형태가 가장 많이 나타난다. 그러나 이 용적이행 형태에서는 스파터가 많이 발생하여 용접품질을 저하시키는 요인으로 작용하여 문제시 되고 있다. 특히 200~300A의 비교적 높은 전류영역의 입상용적이행 영역에서 탄산가스 아크 용접은 MAG/MIG 용접에 비해서 아크가 긴축되어 용적이 조대화하기 쉽고 큰 입자의 스파터 발생이 문제가 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 탄산가스 아크용접에서 입상 용적이행 제어방법으로 <그림 1>과 같이 용적의 형성을 위한 펄스파형과 용적의 이탈을 위한 펄스파형을 분리하여 2 종류의 파형을 하나의 주기로 하는 전류파형제어법이 개발되어 있다¹⁾.

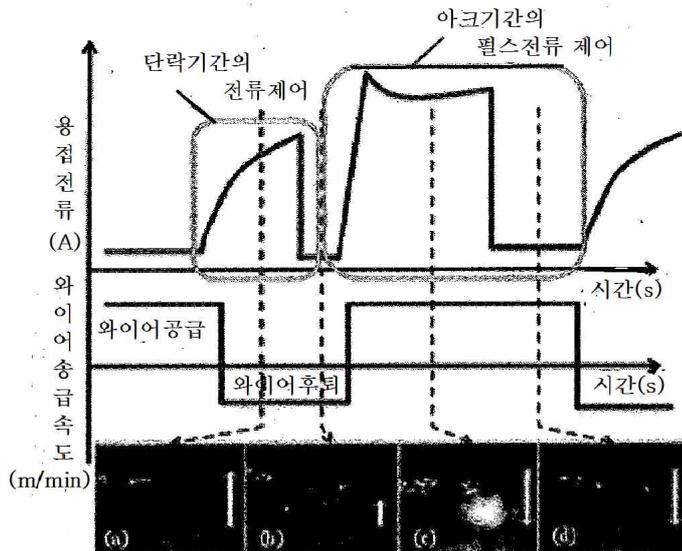
<그림 1>에서 첫 번째의 펄스파형은 피크 개시 직전에 적정 크기의 용적이 와이어 선단에서 형성도록 설정되고 2번째의 펄스파형에서는 아크의 반력에 의해 올려 미는 작용이나 대류 작용보다도 먼저 전자 핀치력이 작용하도록 설정되어 있다. 그 결과 용적의

과대한 성장 및 반발이탈을 억제한 규칙적인 입상 용적이행을 실현시켜 스파터나 폼(fume)을 저감시킬 수 있다.



<그림 1> 새로 개발된 입상 용적이행 제어 출력파형의 예¹⁾

2000년 이후에는 아크용접에서 전류파형제어와 와이어 송급 동기제어와의 합성에 의한 저스파터화 방법이 여러 가지 형식으로 실용화되어 있다. 스파터 발생을 저감시키고, 용접 입열량을 최소화하기 위해 와이어 송급 모터가 아크기간에는 정방향으로 회전하여 와이어를 전진시키고, 단락기간에는 역전하여 와이어를 후퇴시키는 기계적인 단락이행 방식이 CSC(Controlled Short Circuit)법이나 CMT(Cold Metal Transfer)법으로 실용화 되었다. 최근에는 고도의 와이어 송급의 전진 후퇴 거동과 전류파형제어의 동기화에 의해 강제적인 단락 이행을 시킴으로써 스파터 발생을 극한까지 감소시키는 프로세스가 제안되어 있다. 그 예로 CO₂/MAG 용접을 대상으로 1.2mm 직경의 연강 솔리드와이어에 의한 극저 스파터 용접을 실현하는 전류파형 제어법(Pulsed Dip Transfer Process, 이하 PDT 법)이 개발되어 있다²⁾.



<그림 2> PDT법의 원리²⁾

이 용접시스템은 박판의 저스패터 용접의 실현을 목적으로 하였으며 단락이행으로 되는 전류파형제어와 와이어 송급 제어를 조합하고 있다. <그림 2>는 이 시스템의 원리를 보인 것이다.

이 시스템에서 단락을 검출하면 와이어의 송급 방향을 역전하여 와이어의 송급상황에 따른 최적의 단락 해제전류를 통전하고, 아크 재점호를 촉진한다(상황 a). 아크가 재점호 되면 송급은 정방향으로 되지만 재점호 직후에는 와이어 선단의 용적이 과도하게 크게 되지 않도록 낮은 전류를 통전한다(상황 b). 아크가 재점호 되면 와이어 송급 방향은 정방향 회전(Inching)으로 되어 와이어를 공급하고 높은 펄스전류의 통전에 의한 아크력으로 용융지를 밑으로 눌러 깊은 용입을 얻음과 동시에 펄스 통전 중에는 용적이행을 안정화하기 위해 정전압제어를 실행한다(상황 c). 아크 기간의 후반에는 낮은 베이스 전류로 제어하여 재점호를 촉진한다(상황 D).

이 시스템에서 1.2mm 직경의 연강 솔리드 와이어를 이용한 CO₂/MAG 용접에서 스패터 발생량을 조사해 보면 먼저 80%Ar+20%CO₂가스의 MAG용접에서 탄산가스용접보다 스패터량이 감소하고, 개발법과 종래의 법을 비교한 결과, 개발법에서는 CO₂, MAG용접 다 같이 종래법에 비해 대략 1/2 이하로 스패터 발생량을 억제할 수 있음이 밝혀졌다.

이 시스템으로 CO₂/MAG 용접을 대상으로 송급와이어의 전진 후퇴 거동과 전류파형의 동기제어에 의해 송급속도가 6m/min.을 초과하는 전류영역에서도 안정된 송급성능을 실현하고 50A에서 약 300A 정도까지의 넓은 전류영역에서 안정된 용적이행이 실현되어 극저 스패터, 미려한 비드외관과 매끄러운 토우부가 형성되었다²⁾.

3. MAG 용접법에서의 고능력화 기술

MAG용접에서 용적 이행형태는 보호가스의 종류와 용접전류 값에 따라 변화한다. 소전류 저전압 영역에서는 보호가스 성분에 관계없이 단락이행으로 되어 와이어 선단부에 형성된 작은 입자의 용적이 용융지에 접촉(단락)하는 단락이행기간과 그것이 해방되어 아크가 발생하는 아크기간이 비교적 짧은 시간(60~120회/sec. 정도) 교대로 반복한다. 중전류 중전압 영역에서는 보호가스에 CO₂ 혼합비율이 28% 이하의 Ar+CO₂ 혼합가스를 사용하면 용적이행형태는 입상용적 이행으로 된다. 와이어 선단에는 와이어 직경보다 큰 직경의 용적이 형성되나 그 이행은 비교적 원활하고 스패터 발생도 작다. 그러나 CO₂ 혼합비율이 28%를 넘으면 용적이행 형태는 반발이행으로 되어 큰 입자의 용적이 와이어 선단에 형성되어 아크 반력에 의해 강하게 밀어 올리는 작용을 받아 불규칙하고 불안정한 거동을 나타낸다. 대전류 고전압영역에서는 전자 핀치력이 강하게 작용하여 와이어 선단부가 뽕뽕하게 되기 때문에 용적이행 형태는 스프레이 이행형태로 된다.

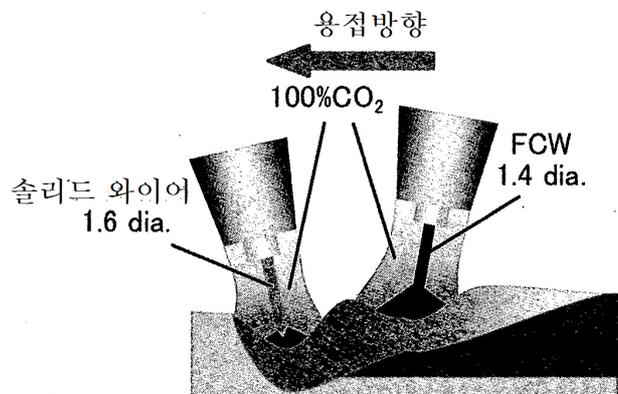
MAG용접에서는 전원 특성이 아크길이의 자기제어 작용에 큰 영향을 미친다. 수치연산에 의한 전원특성의 고정밀도의 제어가 가능하게 되면 재료특성이나 아크 특성이 다른 용접에서도 1대의 용접 전원으로 안정된 용접이 가능하다. 그 예로 용접 제어전용 LSI (Welbee, Welding Best

Electronic Engine)를 탑재한 용접전원이 실현되었다³⁾. 전원특성의 연산정도 향상에 의해 적절한 전원특성을 선택함으로써 MAG용접에서 단락이행의 전류역에서는 단락과 아크의 주기성이 향상되고, 스프레이(Spray)의 영역에서는 아크길이의 미소한 진동이 억제되어 고품질의 용접을 실현시킬 수 있다.

고능률의 MAG용접법으로 탄땀 MAG아크 용접법이 실현되고 있다. 탄땀 MAG용접법은 용입의 개선, 전극간의 아크간섭에 의해 증가하는 스파터 발생량의 억제가 과제이다.

하이브리드 탄땀 아크용접법은 탄땀의 선행 전극에는 솔리드와이어의 탄산가스 용접, 후행전극에는 FCW의 MAG 또는 탄산가스 용접을 채용한다. 이 용접법의 개요는 <그림 3>과 같다⁴⁾.

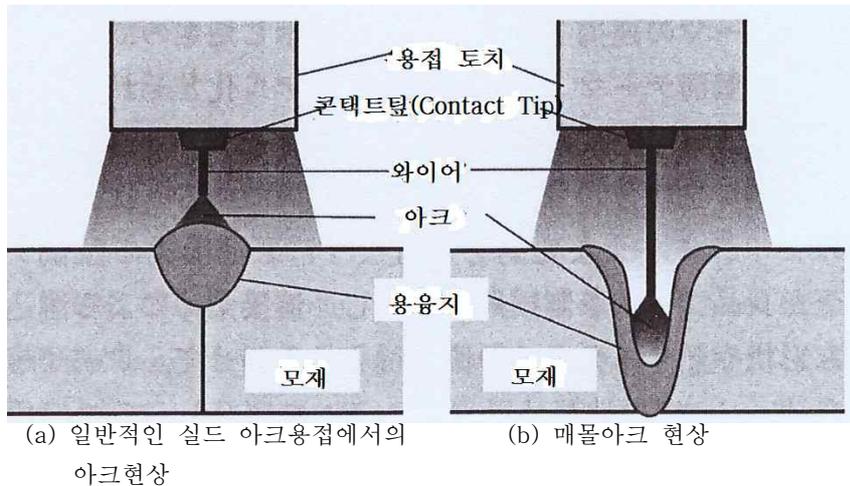
하이브리드 탄땀 아크용접법은 아크간의 간섭도 작고 스파터 발생량이 종래의 탄땀 MAG 아크용접법에 비해 60% 감소될 수 있다고 보고되어 있다. 더욱이 이 용접법은 필릿용접 시 선행 아크로 용입깊이를, 후행 아크로 각장을 각각 독립적으로 제어할 수 있는 것이 큰 장점이다.



<그림 3>하이브리드 탄땀 MAG 용접법⁴⁾

MAG 용접법에 의한 후판용접은 다른 후판 용접법과 비교하여 효율과 품질면에서 「용접 패스 수가 많음」, 「와이어 사용량이 많음」, 「용접변형이 많음」의 3가지 점에서 문제가 있다. 이들 문제점들은 본질적으로 MAG 용접에서 패스 당의 용입 깊이가 얕다는 문제에서 기인한 것이다. 따라서 MAG 용접에서 패스 당 용입 깊이를 깊게 하면 이러한 문제들이 일거에 해소될 수 있다.

일반적인 아크용접에서 용입 깊이를 깊게 하는 방법으로 매몰아크를 이용한다. 매몰아크란 와이어 선단이 모재 표면부 또는 용융금속 표면부보다도 깊은 위치에 있는 상태에서 아크가 발생하는 현상을 말한다. <그림 4>에 매몰아크와 일반 아크의 차이점을 보인다. 매몰아크의 문제점은 아크 안정화가 매우 어렵고 특히 고전류역에서는 더욱 어렵다는 것이다. 따라서 지금까지 매몰아크를 이용하는 용접법은 널리 보급되지 못하였다. 그러나 최근에 매몰아크의 연구가 다수 이루어져 용접전류 300A 정도에서의 안정화 기술이나 판 두께 10mm 정도를 1 패스 관통용접으로 가능한 방법이 개발되어 있다⁵⁾.



<그림 4> 일반아크와 매몰아크 양상의 차이⁵⁾

일반적인 정전압 특성의 용접전원을 이용하여 500A 이상의 고전류역에서 매몰아크를 관찰하면 용융지 내부에 형성된 공간(매몰 공간)의 개구부가 크게 요동하여 매우 불안정한 용융지 거동을 보인다.

「D-Arc 용접법」으로 명명된 개발 용접법에서는 이 요동을 억제하여 용접을 안정화시키기 위해 디지털 인버터제어에 의해 전원 외부 특성을 최적화시켜 전압 진폭 제어를 실행하여 500A 이상의 고전류역에서도 안정된 매몰아크를 실현시켰다.

판 두께 19mm의 후강판 용접 시에 대해 「D-Arc 용접법」과 일반 MAG 다층용접과를 비교하면 그루브 단면적을 약 67% 저감에 따라 1 패스용접화로 용접시간을 약 80% 단축하고, 용접으로 인한 각 변형량도 85% 저감할 수 있었다. 용접시간의 단축에 의해 소비전력 및 와이어 소비량도 삭감이 가능하며 공수를 포함한 전 비용(total cost)은 약 80% 저감할 수 있다는 결과를 얻을 수 있었다⁵⁾.

4. MIG 용접법에서의 고능률화 기술

강판의 용접에서는 아크 안정화를 위해 수 %의 O₂나 CO₂가 첨가된 실드가스를 이용한다. 그러나 수 %라고 해도 산화물 생성에 의한 용접부의 인성저하는 피할 수 없고, 특히 고장력강이나 특수강에서의 영향은 크다. 따라서 강도유지를 위해서는 순 Ar 실드가스 MIG용접이 바람직하다. 그러나 이 용접법은 순 Ar 실드가스 중에서 아크의 불안정이나 젖음성이 나빠지는 등의 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하는 MIG 용접법이 개발되어 있다

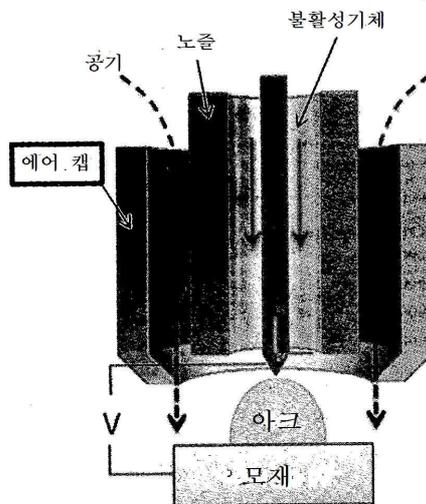
용접 와이어를 동축 복층 와이어로 하여 내층 금속의 용점을 외층 금속의 용점보다도 낮게 함으로써 안정된 순 Ar-MIG용접을 실현시켰다⁶⁾. 또한 아크를 집중시키는 효과가 있는 알칼리금속인 칼륨(K)을 두 층 사이에 도포함으로써 더욱 아크를 안정시키는 시도도 검토되고 있다. 또한 FCW를 이용한 순 Ar-MIG용접법으로 MX-MIG법이 있다. 이 방

법은 전용의 FCW를 이용하여 중심부의 플렉스보다도 외층의 금속을 먼저 용융시켜 아크를 안정화 시킨다⁷⁾.

레이저 어시스트(assist) MIG 용접에서는 일반의 MIG용접에서 큰 표면장력으로 인해 와이어 선단에서 길게 늘어난 용융금속 액기둥을 레이저 조사로 절단함으로써 단락이나 스파터가 없는 양호한 비드 형성을 실현시킬 수 있다.

5. TIG 용접법의 고능률화

TIG용접은 순 Ar 실드에 의한 고품질 용접이다. 대기 중의 질소가 실드가스에 혼입되면 기공이 형성되거나 인성저하가 일어나 용접품질이 저하한다. 이에 반해 적당한 질소 혼입으로 TIG용접에서 깊은 용입이 얻어지는 「Cap A-TIG」라는 용접이 개발되어 있다⁸⁾. 이 방법은 토치의 노즐 외측에 에어캡(air cap)을 붙여 노즐과 에어캡 사이에 공기를 주입하여 깊은 용입을 실현하는 고능률 TIG 용접이다. <그림 5>는 「Cap A-TIG」의 개요도를 보인 것이다.



<그림 5> 「Cap A-TIG」 용접 토치 개요도⁸⁾

「Advanced A-TIG」는 실드가스에 적당량의 산소를 혼입하여 용융지의 산소량을 조정하여 표면장력의 차이를 유발하여 깊은 용입을 실현하는 대류를 발생시킨다. 「Cap A-TIG」에서 공기 대신 산소를 도입하여 STS304를 대상으로 적정 조건을 선택할 경우, 통상의 TIG용접보다 용입 깊이를 약 3배 더 깊게 할 수 있음이 보고되어 있다⁸⁾.

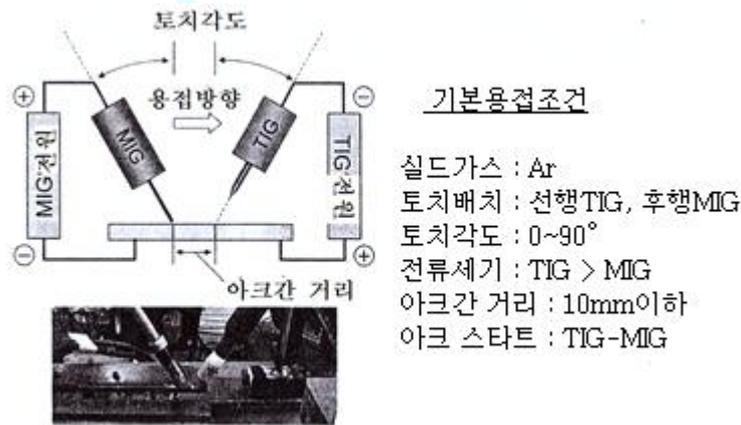
용융지에 자장을 작용시켜 발생하는 전자력에 의해 비드형상을 제어하는 「용융지 자기제어 용접법 : Electromagnetic Controlled Molten Pool Welding Process (일명ECPM)」도 제안되어 있다⁹⁾

6. 복합 프로세스

레이저-아크 하이브리드용접은 갭 여유도가 크고, 이음부 특성에 모재성분의 영향이 작은 점 등 아크용접의 장점과 용입이 깊고 용접변형이 작은 레이저용접의 장점을 겸비한 용접법으로, 후판 고장력강의 용접적용이 활발히 검토되고 있다. 780MPa 및 980MPa 급 고장력강의 맞대기 용접 시 두께 12mm에서는 백킹재(backing) 없이 편측 1패스 관통 용접이, 두께 25mm에서는 앞면과 뒷면 1패스씩의 2패스 양면 용접이 실현될 수 있다. 이 용접에서 아크 전극을 레이저광축과 동축으로 배치하는 기술도 개발되어 3차원의 복잡한 형상의 용접시공도 편리하게 되었다¹⁰⁾.

레이저-아크 하이브리드용접은 고품질성, 고효율성을 활용하는 용접법으로 조선분야에의 적용연구가 활발히 진행되고 있다. 2014년도 이후 조선업계의 공동연구로 (1) 편측 완전용입 T이음제작 조건에 관한 검토, (2) 스테이크(stake) 용접이음의 제작에 관한 시공조건의 검토, (3) 인 프로세스(in-process), 및 자동적으로 용접선을 검출하는 센서 구축연구를 진행하고 있다.

TIG용접과 MIG용접의 복합화 프로세스도 개발되어 있다. 순 Ar MIG용접에 TIG용접을 복합시킴으로써 MIG용접이 안정화될 수 있다고 보고되어 있다. 능률면에서 TIG-MIG용접이 TIG 단독 용접보다도 높다. 판 두께 6mm의 STS304의 맞대기 그루브 용접에서 1m 당 용접시간이 TIG 단독 용접에 비해 25%까지 단축될 수 있음이 보고되어 있다¹¹⁾. <그림 6>은 이 용접법의 개요를 보인 것이다.



<그림 6 > TIG-MIG 하이브리드 용접법의 토치배치와 기본용접조건¹¹⁾

TIG-MIG 하이브리드용접의 채용으로 일반 TIG용접법의 용접품질을 유지하면서도 용접 속도나 용착량을 3~4배 높일 수 있다. TIG-MIG 하이브리드용접은 MIG용접 전원과 TIG 용접 전원에 각각 단독의 용접토치를 접속하여 전극 사이의 거리를 일정 범위에 배치하고 용접 방향으로 TIG용접을 선행으로 MIG용접을 후행으로 한다. 이 용접법에서 MIG용접은 보통의 DCEP(전극 +)로, TIG 용접은 DCEN(전극 -)로 하여 TIG용접의 전류를 MIG 용접의 전류보다 크게 유지함으로써 상호 아크를 안정시킨다.

플라즈마용접과 「J-STAR Welding」의 복합 프로세스에 의한 피로강도 향상이 제안되어 있다¹²⁾. 「J-STAR Welding」은 와이어에 아크 안정화 원소로 REM을 첨가함으로써 DCEN(전극 -)으로 안정된 용적이행을 실현하는 프로세스이다. 이 용접을 선행, 플라즈마용접을 후행함으로써 비드형상이 넓고 낮게 형성되어 탄산가스용접이나 MAG용접과 비교하여 비드 토크(Toe)부가 평활하게 되어 피로강도가 향상된다.

길이가 긴 파이프의 오버레이용접에 탄뎀 TIG 토치와 MIG 용접의 하이브리드 용접이 개발되었다. 이 용접법은 탄뎀 TIG토치를 선행으로 하여 바탕면을 예열하고 일정거리 떨어진 후방에서 MIG용접에 의해 오버레이용접을 실행하여 긴 파이프의 길이 방향 변형을 저감시키는 용접법이다. TIG토치를 탄뎀화한 것은 바탕면 가열부의 경도상승을 억제하기 위함이다¹³⁾.

7. 기타 아크용접

서브머지드 아크용접은 후판의 용접에 적합하며, 조선분야에서 몇몇 파생된 서브머지드 아크용접법이 개발되어 있다. 2본의 와이어를 1전극에 접속하여 용접하는 투윈 와이어(twin wire) 서브머지드 아크용접법에서 2본의 와이어 사이에 콜드 와이어(cold wire)를 와이어 전극에 평행하게 공급하는 「ICE™」이 제안되어 있다¹⁴⁾. 「ICE™」은 보통의 투윈 와이어 용접과 비교하여 50% 정도 용착속도를 높일 수 있다.

판 두께 100mm를 초과하는 후강판을 1패스로 용접하는 일렉트로 가스 용접법 「4전극 VEGAR」가 개발되어 있다. 효율화를 기하기 위하여 토치를 슬림화하고, 이 용접에 적합한 그루브 형상과 용접재료가 개발되어 있다¹⁵⁾.

2전극 CO₂ 일렉트로 가스아크용접에서 용접전류를 펄스화하여 극후판 고장력강에 적용함으로써 저입열화와 용접부 성능 향상의 유효성이 나타났다. 정전압 용접에 비해 입열을 21% 저감시키는 것이 가능하며, HAZ폭의 개선 및 용접금속의 강도향상이 관측되고 있다¹³⁾.

최근에는 아크용접을 접합이 아닌 조형에도 이용하고 있다. 아크용접을 이용한 고속, 고강도, 저가격의 3D 프린팅 기술은 사용의 편리성, 장치가격이나 운전비용의 절감면에서 유리하다. 그래서 스테인리스강이나 Mg합금, Al합금 등의 3D 조형 예가 보고되어 있다.

8. 실드가스의 효율적 이용에 의한 고능률화

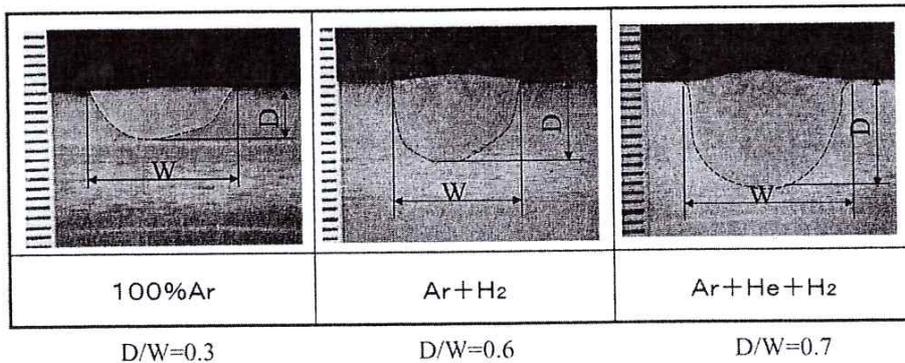
Ar가스와 CO₂가스의 혼합가스의 MAG 용접의 경우에는 CO₂가스 농도가 높을수록 스파터 발생이 증가하고, 비드 표면에 부착하는 스파터도 증가하는 경향이 있다. 한편 Ar과 O₂의 혼합 가스의 경우에는 O₂ 농도가 증가해도 스파터 발생에 크게 영향을 미치지 않는다. 다만 O₂의 경우에는 저농도의 첨가에도 슬래그 발생량의 증가가 인정된다.

일반적인 탄뎀 MAG 용접법에서 Ar에 20%의 CO₂가스를 첨가한 혼합가스를 선행 토치와 후행 토치에 똑같이 공급한 경우와 선행 및 후행 토치 각각에 최적화시킨 혼합가스(Ar+CO₂의 혼합비)를 공급했을 때의 스파터 발생량을 비교하면 후자의 경우에 현격한 스파터의 저감 현상이 나타남이 증명되었다. 이와 더불어 각 토치에 최적화시킨 실드가스 공급으로 깊은 용입이 얻어져 저스파터와 깊은 용입의 2가지 효과가 동시에 나타남이 확인되었다¹⁶⁾.

한편, 용입 깊이를 조정하는 주 요소는 용접전류이다. 그러나 동일 전류 값에서도 실드가스의 조성을 변경함으로써 대폭적인 용입 개선이 가능하다. 예를 들면 TIG용접에서도 범용적인 Ar 가스에 H₂ 가스나 He 등을 첨가하면 대폭적인 용입 개선이 가능하여 용접 속도 향상, 용접패스수 저감, 그루브 가공 저감 등 다양한 비용절감이 실현될 수 있다. <그림 7>은 TIG 용접 시 용입형상에 미치는 실드가스의 영향을 보인 것이다¹⁷⁾.

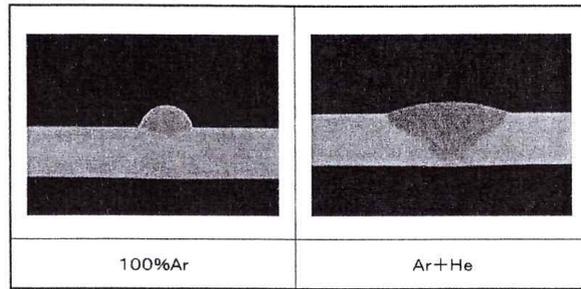
또한 Al의 TIG, MIG 용접에서도 Ar에 He를 첨가함으로써 용입이 크게 개선된다. <그림 8>은 Al합금 TIG용접에서 용입에 미치는 실드가스의 영향을 보인 것이다.

스테인리스강의 용접에서 일반적인 MIG용접(실드가스로 Ar과 2% O₂가스 혼합)시는 비드 표면이 산화되어 스테인리스강 광택을 내기 위해 후가공이 필요하나 순 Ar을 이용한 TIG-MIG 하이브리드 용접 시는 아크안정과 더불어 용접부의 표면광택이 유지되어 후가공이 필요 없어서 큰 경비절감을 가져올 수 있다.



<그림 7> TIG용접의 용입형상에 미치는 실드가스의 영향 (STS304, 150A)¹⁷⁾

박판의 자동 MAG용접에서 능률 향상을 위하여 용접속도를 향상시키면 용접의 안정성이 저하하여 결과적으로 「용락(burn through)」의 용접결함이 발생하기 쉽다. 이때 실드가스로 CO₂가스 대신에 Ar+CO₂의 혼합가스 사용으로 약 3배 이상의 전압 범위에서도 안정된 백비드(back bead)가 얻어지는 것이 확인되었다.



<그림 8> Al합금의 TIG용접에서 용입에 미치는 실드가스의 영향 (A5083, 150A)¹⁷⁾

9. 아연도금 강판 용접법의 고능률화

아연도금 강판은 건축, 전기기기, 자동차 등의 수송기기에 대단히 많이 사용되는 강판이다. 그러나 이 강판의 구조물 조립을 위한 용접 시에 아크 불안정, 기공, 피트, 다량의 스파터 발생으로 많은 문제가 되고 있다. 따라서 이의 대비책이 특히 중요시 되고 있다. 이 강판의 용접 시는 아연의 낮은 비등점(906℃) 때문에 아크용접 시 기화한 아연으로 인해 아크의 불안정이나 기공, 피트(pit)발생의 원인이 된다. 따라서 아연도금 강판의 용접에서는 어떻게 해서든 용접 중에 아연 증기를 용융지로부터 효과적으로 배출시키는 것이 중요하며, 이를 위해서는 아크 직하의 용융지를 안으로 눌러서 용융지 표면적을 넓히는 작업이 필요하다는 개념이 알려져 있다. 이러한 개념을 바탕으로 하여 여러 가지 용접법이 개발되어 있다.

단락이행 MAG 용접의 경우, Ar에 CO₂가스와 O₂를 첨가한 3원계 실드가스에서는 피트의 발생도 없고 스파터의 발생도 작은 결과가 나타났으며, 펄스 MAG 용접에서는 3원계 실드가스로 피트의 발생이 없고 스파터도 현격히 작게 나타나는 결과가 확인되었다.

일본에서 개발된 「TAWERS Zi-Active」 용접법¹⁸⁾에서는 탄산가스용접의 단락 개방 후에 와이어를 끌어올려 아크 길이를 확보함으로써 아크력을 높여 용접금속을 아래로 눌러서 아연 증기를 용융지로부터 배출한다. 또한 「TAWERS Zi-pulse」에서는 Ar 비율이 높은 MAG가스(90%Ar+10%CO₂)를 이용하여 이행용적을 소립화 하여 아크 집중성을 높이고 있다. 이로 인해 아크력이 높아져 용접금속을 눌러서 아연증기의 배출을 돕는다. 「J-Solution」¹⁸⁾은 와이어 조성, 실드가스 조성, 전류파형, 와이어 송급속도 제어의 4개 관점에서 아연도금 강판에 최적화된 용접법이라 할 수 있다.

아연도금강판 용접 시 전자력을 이용한 기공저감 검토가 수행되었다¹³⁾. 외부자장을 부가함으로써 용융지의 대류를 변화시키고, 용융지에 진동을 부여하여 아연증기를 용융금속으로부터 배출시킨다. 외부자장은 아크에 악영향을 주지 않도록 펄스전류를 이용하며, 아크지향성이 강한 피크 전류기간만 외부자장을 가한다. 이 방법으로 기공결함이 발생하기 쉬운 겹침 필릿용접에서 피트나 기공의 저감효과가 확인되었다.

이상과 같이 아연도금 강판에 최적화된 용접법이 개발되어 도금층 제거 등의 전처리를

시행하지 않고 고능률의 아연도금 강판의 용접이 실현되었다

10. 결 언

아크용접은 비용이 저렴하여 각종 제조업에서 가장 보편화되어 있는 용접법이다. 이 용접법은 최근 들어 CO₂용접과 MAG 용접에서 용접전원의 전류파형 제어와 송급와이어의 전진 후퇴 거동의 동기제어 기술이 확립되어 고속, 고능률, 고품질의 용접시공이 실현되고 있다.

아크용접은 전원장치의 디지털 인버터 제어화, 작업의 자동화와 리모트(remote)화, 아크현상의 가시화기술이 발전하여 에너지절감과 저탄소배출의 그린(green)공정기술이 확립되고 있다. 또한 SAW나 EGW와 같은 용접법은 전극와이어의 탄뎀화, 다극화가 진행되어 판두께 100mmt 이상의 극후 고강도 강판재의 1패스 용접이 가능할 정도로 고능률화가 진행되고 있다.

아크용접은 용접공정의 복합화 기술이 발전하여 레이저-아크 하이브리드 용접을 비롯하여 TIG와 MIG 공정의 복합화를 통해 고효율, 고정밀도 용접이 가능하게 되었으며 접합소재에 있어서는 아크용접을 이용하여 고강도 강재, 아연도금강판, 철강소재와 알루미늄합금 등 비철소재와의 이종재 접합에 관한 연구보고가 최근 들어 많이 발표되고 있다.

아크용접 로봇은 사용자에 특화된 적용제어에 의한 용접을 실현하는 로봇이 개발되고, 로봇용 센서로는 아크센서나 레이저센서에 대신하는 CCD나 CMOS 카메라를 사용하여 그루브 위치나 갭 폭을 검출하는 연구가 진행되고 있다.

국내에서도 용접전원의 디지털 제어와 와이어 송급의 동기 제어에 관한 연구발표가 보고되어 있다. 그러나 국내의 용접기 메이커나 용접 시공현장에서의 와이어 송급제어나 전류 파형제어에 의한 용적이행 제어 기술에 관한 인식이 희박하고, 이에 의한 스파터 저감이나 비드외관, 토우부의 형상 개선에 관한 이해가 부족하여 우리나라 용접구조물 산업경쟁력 강화에 장애요인으로 작용한다고 생각된다. 따라서 생산 공정의 기반 공정인 아크용접의 기술고도화를 위한 업계의 많은 노력이 요구되고 있는 시점이다.

<참고문헌>

1. E. Sato, K. Yamazaki, "Regulated Globular Method for CO₂ Gas Shielded Arc Welding" Jnl. of Japan Welding Soc., 84(4), 2015, p. 239-243
2. T. Era, "Metal Transfer Control by Synchronous Control of Wire Push-Pull Feeding and Current Waveform, Jnl. of Japan Welding Soc., 84(4), 2015, p. 234-238
3. 秋山泰範, "デジタル溶接電源の進化とそれが実現する溶接品質管理", 「溶接技術(日本)」, 63(4), 2015, p.90~95
4. T. Era, "Arc Welding", Jnl. of Japan Welding Society, 83(5) 2014 p.379-381
5. MABA Y., "高電流埋れアークを用いた「D-Arc溶接法」による厚板溶接", 「溶接技術(日本)」, 64(9), (2016), p.78~82
6. T. Nakamura, K. Hiraokka, "Control of Wire Melting behavior using Coaxial Hybrid Solid Wire", Quar. Jnl. of Japan Welding Soc. 29 (3), 2011, p. 35s-38s
7. T. Nakamura, K. Hiraokka, "GMA Welding of 9% Ni Steel in the Pure Argon Shielding Gas using Coaxial Multi-Layer Solid Wire", Quar. Jnl. of Japan Welding Soc., 30(3), 2012 p. 254-261
8. 川本 篤寛 その他, "亜鉛めっき鋼板溶接ソリューション"61(4), 「溶接技術(日本)」, 2013, pp.60-65
9. 泉谷 瞬, その他, "亜鉛めっき鋼板用新溶接プロセス, 「J-Solution ^{TW}Znの開発" 「溶接技術(日本)」 60(9). 2012, pp.80-85
10. K. Ono, "Arc Welding" Jnl. of Japan Welding Soc., 85(5) 2016, p. 470-472
11. 森貞 好昭, その他, "Cap A-テイク溶接 による深溶込み溶接", 溶接技術(日本)」, 61(3), 2013, pp.73-77,
12. S. Matsuda et.al., " Study on Expansion of Application for Electromagnetic Controlled Molten Pool Welding Process" Quar. Jnl. of Japan Welding Soc. 30(2) 2012, p.116-124
13. 坪田 秀峰, "レーザー・アークハイブリッド 溶接の開発と適用 「溶接技術(日本)」, 61(11).2013, p. 58-63
14. S. Kanemaru, et.al, " Basic Study on TIG-MIG Hybrid Welding Process " Quar, Jn. of Japan Welding Soc., 30(1). 2012, p.29-34
15. M. Matsuda, et.al. "Development of Plasma-Arc Hybrid Welding Technology" Quar. Jnl. of Japan Welding Soc. 30(1), 2012, p.77-85
16. Hannes Raudsepp M.Sc, IWE, "サブマージアーク溶接技術による生産の高能率化" 「溶接技術(日本)」 61(4), 2013, p.55-59
17. U. Sato, "溶接効率化によるコストダウン-ーシールドガスからのアプローチ", 溶接技術(日本)」, 63(5), 2015, p.88~97
18. A. Kawamoto, "Guideline of Innovative Process Development -Gas Shielding Arc

Welding(Reduction Technique of Spatter)" Jnl. of Japan Welding Soc., 84(3), 2015,
p. 196-201



이 분석물은 과학기술정보통신부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.