

고성능 가스텅스텐 아크용접기술

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 김환태
(htkimm@reseat.re.kr)

1. 서론

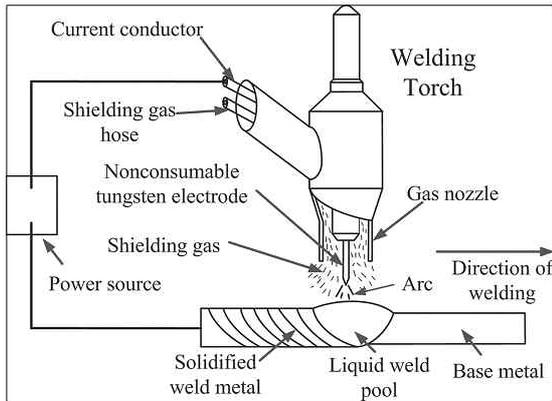
피복아크용접에서 피복재 대신에 특수 토치에 고온(6,000~7,000°C)에서도 금속과 반응하지 않는 Ar가스나 He가스를 분출시켜 대기중의 산소나 질소를 차단시켜 완벽한 상태로 용접부를 보호해 주는 가스텅스텐 아크용접기술은 용접결함이 거의 없고 우수한 품질의 용접부를 얻을 수 있다. 따라서 이 용접기술은 석유화학 장치산업, 에너지산업 등의 중화학산업에서 배관장치, 열교환기, 내식용설비 등의 고합금구조물 제작 현장에서 폭넓게 활용되고 있으며, 선진기술국들은 가스텅스텐 아크용접의 고품질·고능률화를 위한 기술개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 이와 같은 국제적인 추세에 비추어 볼 때 부가가치가 높은 화학장치, 원자력발전소설비, 식음료산업 설비 등의 품질과 경제성을 높이고 대외경쟁력을 확보하기 위한 고성능 가스텅스텐 아크용접기술의 국내 연구와 개발의 중요성은 매우 크다고 판단된다.

본 보고서는 중화학산업, 발전플랜트, 식음료산업 등 많은 산업분야의 배관장치, 열교환기와 같은 용접구조물 제작과정에서 용접관련 중소기업체의 용접생산성 향상과 용접품질 확보 및 용접기술자의 기량 향상에 도움이 되도록 고성능 가스텅스텐 아크용접법의 용접장비 특성, 용접부의 성질, 고부가가치 합금재의 용접기술, 그리고 고효율 가스텅스텐 아크용접시스템에 관한 기술 내용들을 중심으로 정리하였다.

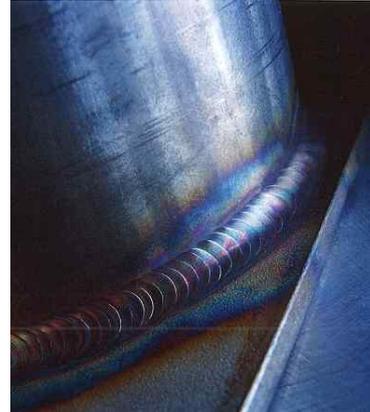
2. 가스텅스텐 아크용접의 개요

비소모식 텅스텐 전극을 사용하는 가스텅스텐 아크용접(GTAW, TIG용접)은 <그림 1(a)>과 같이 용접부가 불활성 가스로 둘러싸였기 때문에 용융금속과 대기와의 사이에 산화, 질화 등의 화학반응을 방지할 수 있어 우수한 이음부를 얻을 수 있고, 산화막이 견고하거나 산화물이 생성되기 쉬운 금속이라도 청정효과(cleaning action)에 의해 용제를 사용하지 않고도 용접이 가능하다⁽¹⁾. 또한 직류 전원을 사용할 때 역극성에서는 폭이 넓고 용입이 얇으며 정극성에서는 폭이 좁고 용입이 깊은 용접비드를 얻을 수 있으며, 역극성에서는 전극의 가열도가 크고 정극성에서는 전극의 가열도가 작다. 이에 따라 불활성 가스 주위 속에서는 저전압이라도 아크의 안정이 극히 양호하여 열을 한 곳에 집중시킬 수 있어서 용접속도가 빠르고 양호한 용입이 얻어지는 등의 특성을 지니고 있어 Al, Mg,

Ni, Cu, 스테인리스강과 고합금 재료 등 모든 금속의 용접에 사용되고 있다.



(a) 가스텅스텐 아크용접 개요도⁽¹⁾



(b) 가스텅스텐 아크용접 비드 외관⁽²⁾

<그림 1> 가스텅스텐 아크용접의 개요도와 용접비드의 외관

3. 가스텅스텐 아크용접기술

3-1. 가스텅스텐 아크용접 장비의 주요 특성

(1) 최신형 인버터를 채택한 용접시스템에서 나타나는 파형 제어와 주파수의 향상에 의해 용접사는 AC 가스텅스텐 아크용접작업을 할 때 전통적인 직사각형파의 아크로부터 집중된 아크형태로 바꿀 수 있다. 이에 따라 용접사는 아크를 매우 안정적이고 집중적으로 유지할 수 있기 때문에 종래의 용접장비로는 얻을 수 없었던 작으면서도 품질이 우수한 용접비드를 제조할 수 있게 되었다⁽²⁾. <그림 1(b)>는 최신형 인버터를 이용한 가스텅스텐 아크용접에서 얻어진 용접비드의 외관으로서 비드의 간격이 일정한 모습을 나타낸다⁽²⁾. 인버터 용접시스템의 주요 장점으로서는 텅스텐 전극의 선정, 에너지 절약, 3상 전원장치의 활용, 저렴한 취득원가, 장비 휴대성의 향상, 그리고 프로그램 저장의 증가 등을 들 수 있다. 최신형 인버터를 탑재한 용접장비는 60여개에 이르는 용접공정변수들과 연관된 프로그램을 저장할 수 있으며 프로그램 저장고의 내장에 따라 용접사가 입력해야 하는 용접공정변수들이 감소함에 따라 빠르고 일관되게 용접공정변수들을 설정하고 정확하게 용접시공을 실시할 수 있게 되었다. 이 결과 인버터기술을 채택한 용접전원장치를 활용하면 용접사들의 기량의 수준과 관계없이 우수한 용접품질과 용접생산성을 달성할 수 있다.

(2) 종래 DC 가스텅스텐 아크용접기의 경우 아크의 발생을 조절할 수 있는 용접변수로는 용접전류가 유일하였다. 그러나 미국의 아크용접기 제조업체인 Miller Electric Mfg. Co.에서 제작된 새로운 고주파 시스템을 갖춘 가스텅스텐 아크용접기에서는 용접전류, 시간(time at amperage), 시간구배(slope time), 그리고 최저 전류 등 4종류의 용접변수를 사용하여 아크의 발생을 조절할 수 있다⁽³⁾. 텅스텐 전극봉의 선단부를 뾰족하게 연마하

면 저전류에서도 아크의 발생특성을 향상시킬 수 있다.

(3) 가스텅스텐 아크용접기의 토치에 <그림 2(a)>와 같이 가스 렌즈를 사용하면 보호가스의 흐름이 부드러워져서 난류를 막아 주고 층류를 도와주어 용융풀이 주변의 공기와 접촉하지 않도록 보호가스가 용융풀을 충분히 보호해 줄 수 있도록 기능을 발휘한다. 가스 렌즈를 사용하지 않아 난류성(turbulent)이 되는 경우에는 보호가스의 흐름에 소용돌이가 일어나서 대기가 용융금속으로 들어와 용접금속이 오염될 수 있다^{(3),(4)}. 가스텅스텐 아크용접기의 토치에 가스 렌즈와 가스 컵을 사용하면 보수용접 시 불활성가스의 보호범위 내에서 텅스텐 전극봉의 돌출길이를 최대 1인치 정도 연장시킬 수 있어서 K형 각도나 Y형 각도와 같이 종래의 가스텅스텐 아크용접기의 토치로는 접근하기 어려웠던 스테인리스강 보수부위에 대해서도 효과적으로 보수용접을 실시할 수 있다⁽⁴⁾.



(a) 가스 렌즈를 설치한 용접토치⁽⁵⁾



(b) 체를 넣은 가스 렌즈⁽⁶⁾

<그림 2> 가스 렌즈(Gas Lens)

<그림 2(b)>와 같이 체(mesh screen)를 넣은 가스 렌즈를 사용하면 가스텅스텐 아크 용접 시 보호가스가 텅스텐 전극봉과 아크, 그리고 용융지 주위에 골고루 흐를 수 있게 되며 이 결과 가스 렌즈는 텅스텐 전극봉의 돌출(extension)을 50% 정도 높일 수 있게 된다⁽⁶⁾.

(4) 가스텅스텐 아크용접법을 사용하여 고합금재 배관을 용접하는 경우 텅스텐 전극의 돌출길이는 가능한 짧은 상태를 유지해야 한다⁽⁵⁾. 맞대기이음부의 용접에서 텅스텐 전극의 돌출길이를 3/16인치 이하로 유지하면 용접아크가 보호가스 외피의 안쪽에서 안정한 상태로 유지되며 배관이음부의 그루브면까지 용접금속이 충분히 용융되고 융합될 수 있도록 그루브 각도를 크게 하고(V 그루브의 경우 80~90° 정도), 루트간격을 넓게 할 수 있다. 이때 용접기의 극성은 전극봉을 음극으로 하는 정극성(DCEN)을 사용한다. 아크 발생은 고주파법, Lift-Arc™, 또는 전극봉 접촉법(scratch start) 등이 있다⁽⁵⁾.

(5) 전류의 파형을 펄스로 하는 펄스전류 가스텅스텐 아크용접은 정전류 가스텅스텐 아

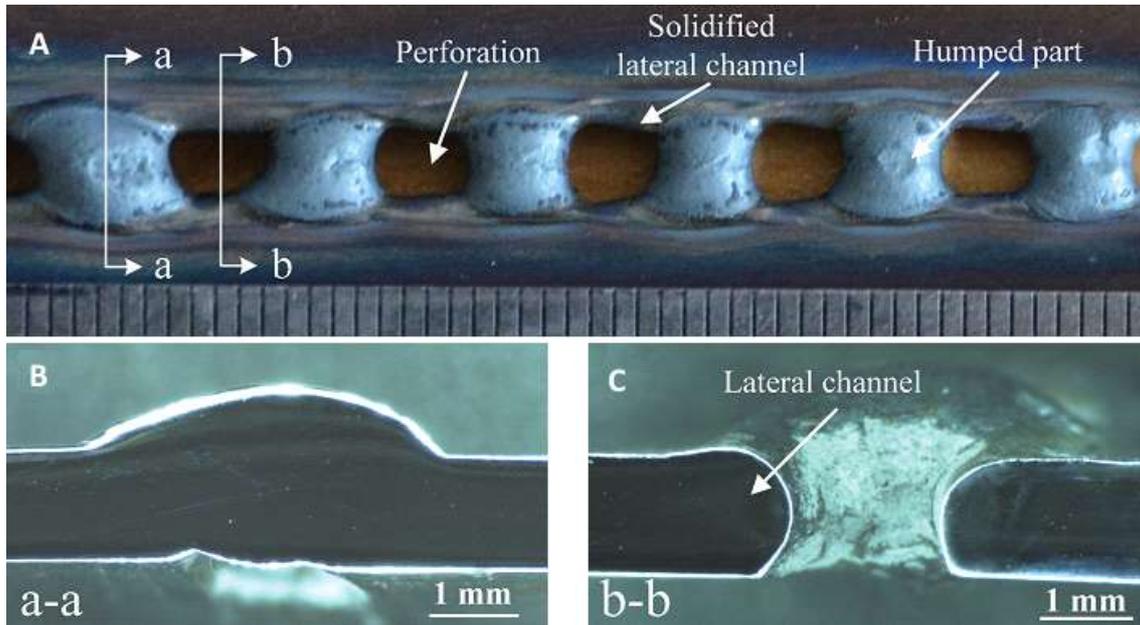
크용접에 비해 용입깊이는 동일하면서도 용접입열량은 30% 정도 낮추는 효과를 얻는다.⁽⁶⁾ 이와 같은 특성 때문에 펄스전류 가스텅스텐 아크용접법은 스테인리스강, 박판 계이지 소재, 알루미늄 합금의 용접에 많이 적용된다. 펄스전류 가스텅스텐 아크용접에서 펄스전류의 주요 변수는 다음과 같다.⁽⁶⁾

- ① 펄스 최대전류 I_p (pulse peak current) : I_p 에서 용접입열량이 최대로 되며 t_p (pulse peak current time)동안 모재와 용가재의 용융이 진행된다.
- ② 펄스 폭 θ_p (pulse width) : $\theta_p(t_p/(t_p+t_b))$ 는 통상 40~65% 정도를 유지한다.
- ③ 펄스 주기 f (pulse frequency) : $f(1/(t_p+t_b))$ 는 100pulse/sec로 시작한다. f 가 증가하면 입열량의 증가없이도 용입이 깊고 비드폭이 좁은 용접부가 얻어진다. 대개의 경우 200pulse/sec 정도를 택한다.
- ④ 펄스 베이스 전류 I_b (pulse base current) : I_b 에 이르면 용융되었던 용접부가 t_b (pulse background current time)동안 냉각되어 응고가 진행된다. 통상 I_b 는 $I_p/3$ 정도에서 용접을 시작하며 용접 중에는 필요한 경우 I_b 의 45~50% 정도를 유지한다.

(6) 가스텅스텐 아크용접법으로 간격이 넓은 루트부를 용접하려면 직경이 굵은 용가봉을 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 용가봉의 직경이 증가할수록 용가봉을 녹이는데 많은 에너지가 소요되며, 과도한 에너지가 공급되면 용접 중에 용락에 의한 용접결함이 발생하거나 또는 용접열영향부에 탄화물이 석출하여 용접이음부가 취성과파괴를 일으킬 수 있으므로 주의가 요구된다. 한편 모재의 온도가 낮은 상태에서 용접을 하면 수소에 의한 균열이 발생하기 쉽기 때문에 4130Cr-Mo 튜브와 같은 저합금 고장력강은 용접전에 반드시 예열처리를 실시해야 한다⁽⁷⁾.

3-2. 가스텅스텐 아크용접부의 특성

(1) 가스텅스텐 아크용접공정의 용접생산성을 증가시킬 목적으로 용접속도를 높여서 고속용접을 실시하기 위해서는 용접비드의 품질을 일정한 수준으로 유지하는 것이 요구된다. 그런데 고속용접 과정에서 용접부의 용입깊이와 용접비드의 외관에 많은 영향을 주는 용접전류와 용접속도의 균형이 맞지 않으면 용접비드의 표면이 불룩하게 튀어나오는 <그림 3>과 같은 험핑 현상이 발생하여 비드외관이 불균일한 용접비드가 만들어지므로 이를 방지하는 것이 중요하다⁽⁸⁾. 박판재를 대상으로 하는 고속의 단층(single pass) 제살 용접부에서는 완전용입(complete joint penetration)형 험핑비드가 발생하게 된다. 용융지의 중간부분에서 측면 채널(lateral Channel)이 순간적으로 응고되면서 용융금속이 후방으로 흐르지 못하고 측면 채널에 축적되면서 양쪽의 측면에서 용융금속의 응고가 연속적으로 진행되어 응고금속의 돌기가 만들어지고 종국에는 양쪽의 돌기가 연결되고 합쳐지면서 완전용입형 험핑비드가 형성된다⁽⁸⁾.



<그림 3> 완전용입형 험핑비드 형상(A-비드 외관, B-험핑부의 단면형상, C-천공부의 단면형상)⁽⁸⁾

완전용입형 험핑비드의 주요 특징으로는 ① 용접금속이 모두 험핑부에 축적되며 험핑부와 험핑부의 중간 부분에는 응고금속이 존재하지 않는 천공부(perforation part)가 주기적으로 생성되는 험핑비드의 형상(morphology of humping bead)을 보인다. ② 완전용입형 험핑비드는 험핑아크에 의해 만들어지는 용융지의 선두부에서 형성되지 않는 대신 용융지의 중간부에서 형성되는 특성을 갖는다. ③ 고속용접이 진행됨에 따라 용융금속의 평행흐름(제 2단계)→측면 축적(제 3단계)→양쪽 돌기의 연결과 합침(제 4단계) 과정이 반복적으로 나타나면서 험핑비드가 주기적으로 발생하게 된다⁽⁸⁾.

(2) 용접시 루트부를 보호하기 위해서는 가스퍼징을 실시할 수 있는 공간을 확보하여 가스퍼징의 효과를 충분히 발휘해야 하므로 알곤가스나 헬륨가스와 같은 불활성가스에 대한 용접퍼징기술의 확립이 대단히 중요하다⁽⁹⁾. 용접 루트부를 청결하게 만드는 가장 좋은 방법은 가스퍼징을 통해 용접부에 요구되는 수준의 청결을 확보한 후 퍼지 공간 외부로 방출되는 오염물질이 다 씻겨 내려갈 때까지 퍼지가스를 계속 흐르게 하는 것이다. 가스퍼징의 일반 요령은 다음과 같다⁽⁹⁾.

- ① 가스퍼징된 공간의 표면에 공기 또는 수분을 흡수하는 먼지가 없어야 한다.
- ② 파이프의 끝부분과 같이 퍼지 공간이 개방되는 경우에는 금속 혹은 플라스틱 판과 테이프를 사용하여 밀봉해야 한다.
- ③ 퍼징가스의 유량속도는 퍼징 공간으로부터 휘발된 오염물질을 제거하는데 필요한 최소한의 유량속도보다 약간 높은 값을 유지하는 것이 좋다.
- ④ 용접길이가 긴 수평용접부나 수직용접부에 가스퍼징을 적용하는 경우, 퍼징가스의 입구에서 퍼징가스의 출구 방향으로 용접을 진행해야 한다.

⑤ 용접이 끝난 후 육안검사를 통해 가스퍼징의 결과를 확인해야 한다.

(3) 발전설비, 석유화학 공장, 제약설비, 양조장, 식품가공 공장 등에 많이 사용되고 있는 고품질 스테인리스강(STS304H) 배관의 용접은 가스텅스텐 아크용접이 바람직하다. 스테인리스강 배관내부의 용접루트부 산화는 불활성 가스의 퍼징(purging)기술을 이용하여 용융부에 대한 공기 접촉을 차단시켜 방지할 수 있다⁽¹⁰⁾. 순수한 Ar은 STS304나 STS316과 같은 표준적인 오스테나이트계 스테인리스강의 가스텅스텐 아크용접에서 가장 일반적으로 사용되는 퍼징가스이다. 그러나 Ar은 전세계적으로 공급량이 부족하여 가격이 상승되고 있다. 이러한 시점에서 순수한 N₂ 혹은 혼합가스와 같은 대체 퍼징가스로 전환시키려면 가격과 유용성에 균형이 맞아야 한다. 스테인리스강의 용접 시에 루트부를 보호하기 위해서는 ① 통상의 루트부 보호(퍼징)가스는 Ar, N₂ 또는 수소(10%)를 혼합한 N₂이지만, He, Ar/He 및 수소 혼합가스와 같은 다른 종류의 가스도 사용된다. ② 수소는 환원분위기를 제공하여 Ar보다 더욱 효과적으로 산화물의 형성을 억제한다. 그러나 일반적으로 오스테나이트계 스테인리스강에 대해서만 추천하고 있다. ③ N₂가 합금화된 오스테나이트계 혹은 슈퍼듀플렉스 스테인리스강에 대해서는 N₂의 손실에 대처하기 위하여 N₂함유 혼합가스의 사용이 추천되고 있다. ④ N₂함유 퍼징가스의 사용은 많은 양의 N₂가 루트부 비드에 들어가서 루트부를 확장시킬 수 있고 수동용접을 용이하게 한다. 그 이유는 용접금속의 페라이트함량에 영향을 주어 6FN(ferrite number)까지 감소시키기 때문이다. ⑤ STS304H 모재와 ER308H 용접와이어의 성분으로 제조된 용접부는 1차 상으로 페라이트로 응고되어 고온균열에 관한 문제는 예측되지 않지만 모재와 용접와이어 성분에 대하여 충분히 안정된 범위에 있는지 확인하기 위하여 WRC-92 diagram으로 점검하기를 추천한다⁽¹⁰⁾.

3-3. 스테인리스강, 티타늄합금, 알루미늄합금의 가스텅스텐 아크용접시공

(1) 가스텅스텐 아크용접은 다음과 같은 장점을 지니고 있어 스테인리스강의 보수용접에 자주 사용된다⁽⁴⁾.

① 용접사가 용접입열량을 정밀하게 제어함으로써 보수용접시 스테인리스강의 용접야금학적 특성을 관리할 수 있으며 용접변형을 조절할 수 있게 된다.

② 용접사가 용융풀 제어, 용접비드 배치, 용접비드 크기 등을 정밀하게 제어함으로써 스테인리스강 보수용접부를 100% 용융시킬 수 있으며 기공, 불순물, 기타 결함의 발생을 방지할 수 있게 된다.

③ 가스텅스텐 아크용접기는 인버터의 중량이 가볍기 때문에 휴대성이 양호하며 보수용접이 필요한 위치와 가까운 곳에 용접기를 위치시킬 수 있는 융통성을 갖는다. 또한 가스텅스텐 아크용접은 전자세용접이 가능하기 때문에 보수용접 대상 제품의 이동이 불가능하거나 편리하지 않거나 또는 비용이 많이 소요되는 경우에도 보수용접을 용이하게 실시할 수 있다.

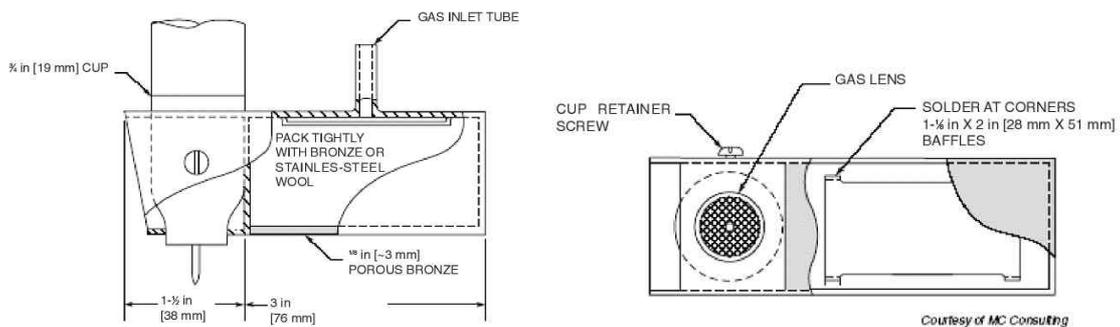
④ 보수용접 과정에서 430~870°C 범위로 가열되는 스테인리스강의 용접열영향부에서는 C이 Cr과 반응하여 Cr-carbide가 결정립계에 석출하는 예민화 현상이 발생하며, 이 결과 스테인리스강 표면에서 부식을 방지해 주는 역할을 해 주는 보호피막을 형성하는 Cr량이 결핍되어 스테인리스강 보수용접부의 내식성이 저하될 수 있다. Cr 성분의 예민화 현상을 막아 주는 Nb 성분을 첨가한 용접재료(AWS ER347)나 Ti 성분을 첨가한 용접재료(AWS ER321)를 사용하면 스테인리스강 보수용접부에서의 입계부식(intergranular corrosion)을 효과적으로 방지할 수 있다.

(2) 티타늄 합금을 용접할 때는 청결의 유지가 중요하며 불활성 보호가스의 사용에 있어서 스테인리스강이나 니켈 합금보다 더 많은 주의가 요구된다. 공기로부터 용접금속의 오염을 방지하기 위해서는 비드표면과 루트부에 대하여 불활성 보호가스의 완벽한 차폐작용이 필요하다⁽¹¹⁾.

① 가스텅스텐 아크용접은 전자세 용접이 가능하므로 티타늄 파이프를 궤도용접(orbital welding)하는데 효과적으로 사용할 수 있다.

② 가스텅스텐 아크용접시 전극을 음극에 연결하는 직류 정극성(DCEN)을 사용하면 우수한 용접부가 얻어진다. 용접토치의 초기가스(preflow) 타이머와 후기가스(postflow) 타이머, 이면 비드 차폐 등은 대기의 오염으로부터 티타늄 용접부를 충분하게 보호하는데 필요한 요소들이다.

티타늄 합금 용접부를 설계할 때에는 용접을 마친 후에 실시하는 용접부 양쪽면에 대한 검사의 용이성 외에도 용접중의 불활성 가스 차폐를 위해 <그림 4>와 같은 용접치구의 접근성을 확보해야 한다⁽¹¹⁾.



<그림 4> 티타늄합금의 가스텅스텐 아크용접에 사용되는 보호가스 차폐 장치⁽¹¹⁾

(3) ASTM Grade 5 티타늄 합금(Ti-6Al-V)은 ASTM A36 철강재에 비해 45% 정도 가볍고 항복강도는 3배 정도 강하며, 6061-T6 알루미늄 합금에 비해 60% 정도 무겁고 항복강도는 3배 정도 강한 재료로서 비강도(strength-to-weight)가 매우 높다. 비드폭이 좁고 용입이 깊은 용접부가 얻어지는 직류 정극성(DCEN, 전극을 음극에 연결하고 모재를 양극에 연결)을 사용하면 우수한 용접부가 얻어진다. 용접부를 대기과 차단하기 위하여

정화 블록(purge block)(<그림 5(a) > 참조)을 사용하는 경우, 보호가스의 유량은 10 ft³/hr로 유지해야 한다⁽¹²⁾.



(a) 정화 블록(purge block)



(b) 용가재 취급 요령

<그림 5> 티타늄합금의 가스텅스텐 아크용접에 사용되는 용접치구와 용가재 취급⁽¹²⁾

용가재는 모재 금속과 대등한 등급에 맞추어 선정해야 하며, 용접을 실시하기 전에 실보푸라기가 없는 면장갑과 아세톤이나 메틸에틸케톤(MEK)를 사용하여 청결을 유지해야 한다. 티타늄 합금을 용접할 때는 용접사 손의 땀이나 기름이 모재나 용가재에 닿지 않도록 항상 니트릴 장갑을 착용하고 작업에 임해야 한다(<그림 5(b) > 참조)⁽¹²⁾.

(4) 알루미늄합금의 가스텅스텐 아크용접 작업표준에는 알루미늄합금 모재의 특성, 용접재료, 개선형상, 용접자세, 용접준비 상황, 용접전원과 극성, 예열과 층간온도, 용접부의 청소, 용접결함의 보수, 용접후열처리, 용접부의 검사, 안전위생, 용접사의 자격 등이 포함된다⁽¹³⁾.

① 알루미늄합금의 가스텅스텐 아크용접에서는 표면에 존재하는 Al₂O₃ 산화막을 용이하게 제거하여 용접하는 것이 필요하며 이를 위해 청정효과(cleaning effect)가 높은 교류전원을 사용한다.

② 알루미늄합금 용접부에서는 블로우홀, 기공 등이 발생하기 쉽기 때문에 이를 방지하기 위한 기술정보를 확보하는 것이 중요하다. 알루미늄합금에 발생하는 블로우홀 기공 등은 주로 수소에 기인되기 때문에 습도가 높을 때는 용접을 실시하지 않은 것이 좋다.

③ 알루미늄합금의 용접부는 용접열에 의한 변형이 쉽게 발생하므로 변형의 발생방지와 교정 작업에 관한 기술이 필요하다. 변형의 교정은 기계적인 방법과 가열냉각에 의한 방법이 있는데 실제의 변형 교정에서는 가열냉각을 이용하는 방법이 많이 사용되기 때문에 가열방법과 가열온도의 선정이 중요하다.

④ 교류의 주파수를 증가하면 펄스 주파수를 증가하는 것과 동일한 효과를 얻을 수 있다. 아크콘(arc cone)을 좁게 하고 집약시키면 용접속도를 증가시키면서도 용접비드가 좁게 되고 용입이 깊어진다⁽¹⁴⁾. 침단형 교류 제어시스템을 이용한 알루미늄합금의 가스

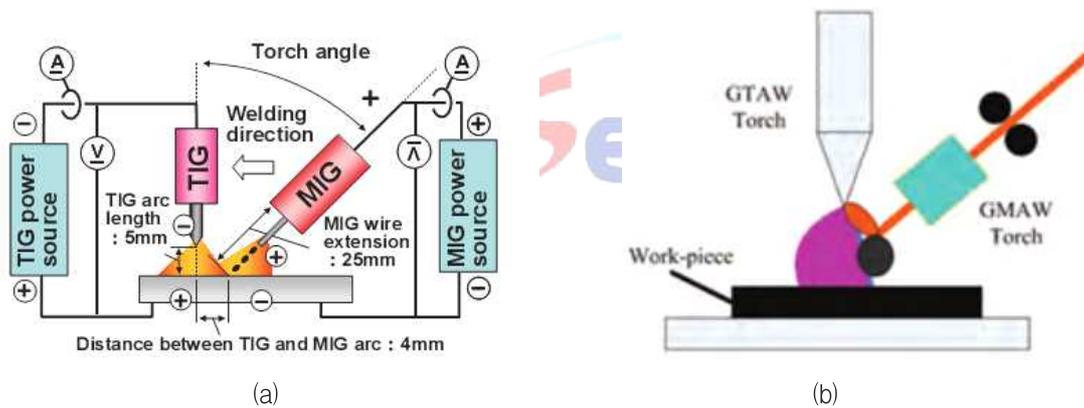
텅스텐 아크용접에서 염두에 두어야 할 주요 고정변수들은 다음과 같다.

- 용접전류의 크기는 맞대기 이음부의 가스텅스텐 아크용접보다는 필릿 이음부의 가스 텅스텐 아크용접에서 더 높은 전류값을 설정한다.
- 박판재와 필릿 이음부의 최적 주파수는 80~150Hz이며, 맞대기 이음부의 경우에는 80Hz에서 용접을 시작한다⁽¹⁴⁾.

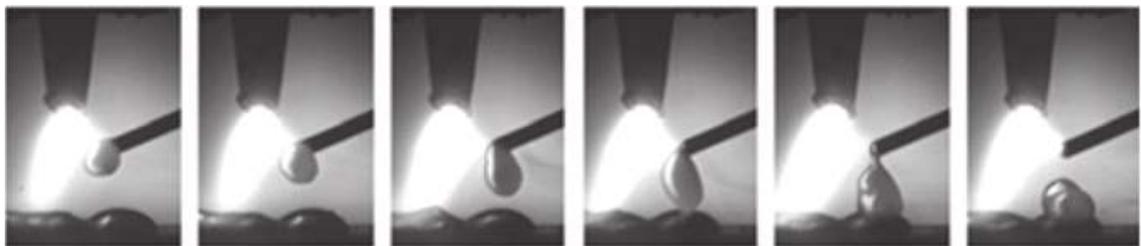
3-4. 가스텅스텐 아크용접법의 활용성을 높여 주는 특수용접기술

3-4-1. 가스텅스텐아크용접-가스메탈아크용접(TIG-MIG) 복합시스템

(1) 가스텅스텐 아크용접(GTAW, TIG용접)과 가스메탈 아크용접(GMAW, MIG용접)의 능력을 향상시키고 품질을 높여 주기 위해 개발된 TIG-MIG 복합시스템(<그림 6> 참조)은^(15,16) 최적으로 조합된(TIG0° /MIG+45°) 일체화 전용토치를 사용함으로써 현장에서 용접작업성이 우수하고 적절한 용입깊이, 단면이 우수한 용접비드형상, 그리고 표면이 평평하고 양호한 용접부가 얻어졌다⁽¹⁵⁾. <그림 7>은 TIG-MIG 복합시스템에서 용적의 이행 거동을 나타낸다⁽¹⁶⁾.



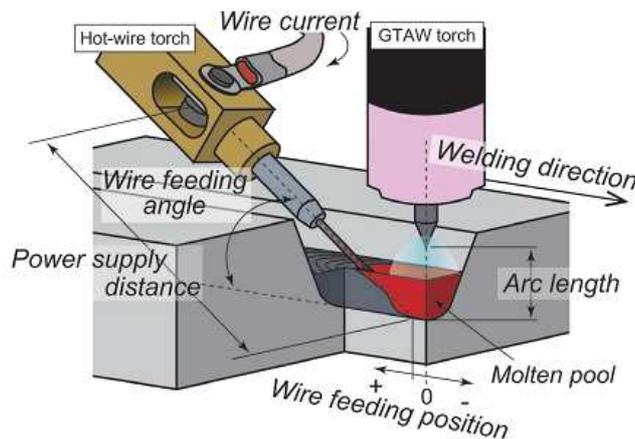
<그림 6> TIG-MIG 복합시스템 개요도^(15, 16)



<그림 7> TIG-MIG 복합시스템에서 용적의 이행 상태⁽¹⁶⁾

3-4-2. 고온와이어 공급방식 용접기술

(1) 가스텅스텐 아크용접(GTAW)의 능력을 향상시켜 주는 방안으로서 용가재를 공급하여 용착속도를 높여주는 고온와이어 공급식 가스텅스텐 아크용접(hot-wire GTAW)이 활용되고 있다. 와이어에 전류가 흐르면서 발생하는 저항열로 용가재를 예열하는 고온와이어 공급식 가스텅스텐 아크용접은 저온와이어 공급식 가스텅스텐 아크용접에 비해 아크에너지가 증가할수록 용착속도가 크게 향상된다. <그림 8>은 스테인리스강 용접금속의 결정립 미세화(grain refinement) 효과를 가져다주는 고온와이어 공급식 가스텅스텐 아크용접시스템으로서⁽¹⁷⁾ 이 용접법을 통해 용접부의 강도와 연신율이 향상되었다.



<그림 8> 스테인리스강 용접금속의 결정립을 미세화시켜 주는 고온와이어 공급식 가스텅스텐 아크용접법⁽¹⁷⁾

한편 미국의 EWI(Edison Welding Institute)에서는 대기중에서 용접작업이 진행되고 진공 챔버가 필요하지 않으며 용접생산성을 높이기 위해 전기저항열을 사용하여 용가재를 예열시켜 주는 고온와이어 공급식 GTAW-HW(Gas Tungsten Arc Welding with a Resistively Heated Wire)에 의한 티타늄합금의 적층가공(additive manufacturing) 기술을 개발하였다⁽¹⁸⁾.

(2) 텅스텐 전극에서 발생하는 아크를 이용하여 외부에서 공급되는 용가재 와이어를 용융시켜주는 아크와이어(arcing-wire) 공급식 가스텅스텐 아크용접은 종래의 고온와이어 공급식 가스텅스텐 아크용접이 갖고 있는 문제점을 해결해 주는 새로운 기술이다.

① 텅스텐 전극보다 높은 전위를 갖는 와이어를 아크 속으로 삽입하면 전위차에 의해 와이어와 텅스텐 전극 팁 사이에서 2차 아크(side arc)가 발생한다.

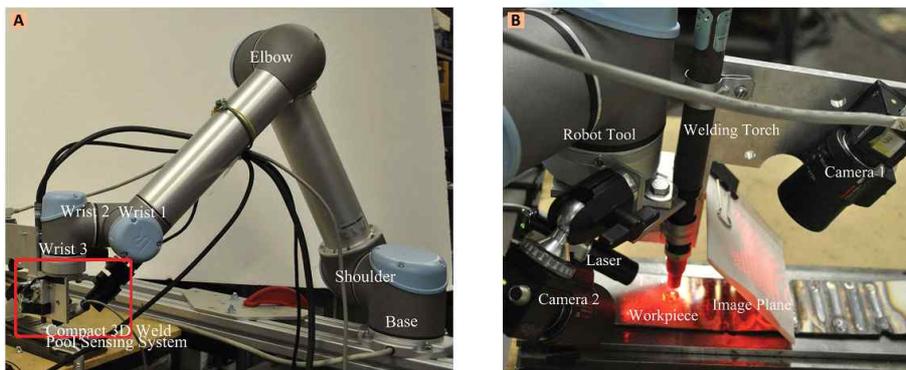
② 아크와이어 공급식 가스텅스텐 아크용접의 용착속도는 가스메탈 아크용접과 동일한 수준에 달하기 때문에 아크와이어 공급식은 종래의 저온와이어 공급식 가스텅스텐 아크용접이나 고온와이어 공급식 가스텅스텐 아크용접과 비교하면 용착/용융속도가 매우 향상된 용접기술이다.

아크와이어 공급식 가스텅스텐 아크용접에서는 일반적인 가스텅스텐 아크용접에서와 같이 용접모재에 공급되는 전류와 전류파형을 아무 제한없이 독립적으로 제어할 수 있다. 이에 따라 아크와이어 공급식 가스텅스텐 아크용접은 가스메탈 아크용접과 동등한 생산성을 갖고 와이어를 용융시키면서도 가스텅스텐 아크용접의 탁월한 아크제어성을 유지할 수 있게 된다⁽¹⁹⁾.

3-4-3. 가상용접을 이용한 가스텅스텐 아크용접법의 교육

최근 용접사의 교육 훈련에서 가상현실(VR, virtual reality)의 가치가 인정을 받고 있으며, ARC+, Fronius 가상용접시스템, VRTEX 360° 와 같이 HMD(head-mounted display)를 장착한 세련된 훈련시스템들이 제안되고 있다⁽¹⁾.

① 가상현실 방법 중에서 VRTEX 360° 법이 가장 세련된 용접훈련시스템의 한 방법으로 인정받고 있다. 모형 용접토치에 감지기가 장착되어 있기 때문에 완전히 추적될 수 있다. 용접사의 헬멧은 HMD 장비를 갖추고 있어서 모의 이미지(simulated image)를 공급해 준다. 훈련 도구로서 용접사 훈련생에게 제공되는 이미지는 모두 모의된 것들이다.



<그림 9> 산업용 용접로봇, 육안 카메라, 3D 용융지 표면 감지시스템으로 구성된 용접훈련용 스테이션시스템⁽¹⁾

② 용접 스테이션은 산업용 용접로봇, 육안 카메라, 그리고 3D 용융지 표면 감지시스템으로 구성되어 있다⁽¹⁾. (<그림 9> 참조)

③ 3D 용융지의 기하학적 정보들은 용접사의 움직임에 따른 용융지의 3D 기하학적 형상을 연관시켜 줄 수 있도록 크게 활용되며, 이와 같은 시스템을 통해 용접공정의 적응 제어 및 정밀제어를 동시에 진행할 수 있다.

④ 구상화시스템에서는 카메라(eye view camera)로 수집된 아래보기 자세 용접시료에 대한 시각정보를 컴퓨터 스크린 위에 나타내 보인다.

⑤ 용접사는 가상 스테이션에서 용융지 이미지(직접 보거나 혹은 카메라를 통해 봄)가 만들어지고 나타내 보이는 모형을 볼 수 있다. 이를 바탕으로 용접사는 용접시료 앞에서 올바르게 판단되는 방향으로 가상용접토치를 이동시킨다.

- ⑥ 용접사의 움직임은 운동감지기(Leap motion sensor)에 정확하게 잡히며 수집된 3D 가상용접토치팁과 합쳐져서 컴퓨터로 전달된다.

4. 결 론

부가가치가 높은 석유화학 장치산업, 에너지설비산업 분야의 품질과 경제성을 높이고 대외경쟁력을 확보하기 위해서는 용접특성과 용접생산성이 우수하여 용접생산 현장에서 핵심적으로 사용되고 있는 가스텅스텐 아크용접법을 올바르게 활용하는 것이 필요하며 이를 위해서는 용접관련 중소기업체의 용접기술자들이 용접장비 특성, 용접재료와 용접부 성질, 용접안전, 그리고 고부가가치 합금재의 용접시공기술에 대한 내용들을 폭넓게 조사하고 완전히 이해하여 용접생산성을 향상시키고 용접품질을 확보하는 것이 중요하다. 최신형 인버터를 채택한 가스텅스텐 아크용접기, 고주파 시스템을 갖춘 가스텅스텐 아크용접기, TIG-MIG 복합시스템, 고온와이어 공급식 GTAW-HW(Gas Tungsten Arc Welding with a Resistedly Heated Wire)의 특성을 파악하고 현장에 적용해야 하며, 화학장치, 원자력발전소설비, 식음료산업 설비 등의 산업분야에서 내식내열용 스테인리스강, 고장력 알루미늄합금, 고온용 티타늄합금과 같은 고부가가치 재료를 사용한 용접구조물의 용접시공 능력을 향상시켜야 한다. 이외에도 가상현실을 이용한 VRTEX 360° 와 같은 용접사의 교육 훈련시스템을 이용하여 용접사의 기량을 향상시키는 것이 필요하다.

<참고문헌>

1. Y. K. Liu, Z. Shao, and Y. M. Zhang, "Learning human Welder Movement in Pipe GTAW : A Virtualized Welding Approach", 「Welding Journal」, 93(10), 2014, pp.388s-398s
2. Robert L. Bitzky and Jeff Garraux, "Inverters Improve Control for AC Gas Tungsten Arc Welding", 「Welding Journal」, 92(7), 2013, pp.28-30
3. John Luck, "Tips to Improve GTAW Arc Starts", 「Welding Journal」, 89(7), 2010, pp.42-45
4. Dave Fisher, "A Guide to Making GTAW Repairs on Stainless Steel", 「Welding Journal」, 90(2), 2011, pp.50-54
5. Neal Borchert and Danny Phillips, "Techniques for Successfully Welding Alloy Pipe", 「Welding Journal」 86(6), 2007, pp.58-62
6. Melissa Franklin, "How to Improve GTAW Performance", 「Welding Journal」, 92(7), 2013, pp.38-43
7. Todd Bevis and Andy Weyenberg, "Best Practices for GTAW 4130 Chrome-Moly Tubing", 「Welding Journal」, 89(4), 2010, pp.42-45
8. X. Meng, G. Qin, X. Bai, and Z. Zou, "Humping Phenomena in High-Speed GTAW of different Weld Penetrations", 「Welding Journal」, 95(9), 2016, pp.331-339

9. James A. McMaster, "Using Inert Gases for Weld Purging", 「Welding Journal」, 87(5), 2008, pp.40-44
10. E. Taban, E. Kaluc, and T. S. Aykan, "Effect of the Purging Gas on Properties of 304H GTA Welds", 「Welding Journal」, 93(4) 2014, 124s-130s
11. Richard Sutherlin, "The Welding of Titanium and Its Alloys", 「Welding Journal」, 86(12), 2007, pp.40-45
12. John Luck and Jack Fulcer, "Titanium Welding 101 : Best GTA Practice", 「Welding Journal」, 86(12), 2007, pp.26-31
13. 瀬渡直樹, "アルミニウム合金の溶接作業標準の開発", 「軽金属溶接(日本)」, 49(1), 2011, pp.7-11
14. Melissa Franklin, "How to Improve GTAW Performance", 「Welding Journal」, 92(7), 2013, pp.38-43
15. Shuhei Kanemaru, Tomoaki Sasaki, Toyoyuki Sato, Hisashi Mishima, Shinichi Tashiro, and manabu tanaka, 「溶接學會論文集(日本)」, 31(4), 2013, pp.18s-21s
16. S.J. Chen, L. Zhang, G.Q. Men, Y.X. Song, S. Su, and L.W. Wang, "Effect of Torch Height on Arc Stability in Divided-Arc Processes", 「Welding Journal」, 95(2), 2016, pp.47s-56s
17. 山下正太郎, 藤崎賢二, 山本元道, 門井浩太, "オーステナイト系ステンレス鋼SUS310S溶接金属の微細粒組織形成現象とその特性", 「溶接學會論文集(日本)」, 35(1), 2017, pp.6-12
18. Nick Kapustka and Ian D. Harris, "Exploring Arc Welding for Additive Manufacturing of Titanium parts", 「Welding Journal」, 93(3), 2014, pp.32-35
19. J. S. Chen, "Gas Tungsten Arc Welding Using an Arcing Wire", 「Welding Journal」, 91(11), 2012, pp.261s-269s.

이 분석물은 과학기술정보통신부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.