

TIG 용접에서의 실드가스 혼합비에 따른 에너지 분포 특성

The Characteristic of Energy Distribution by Shield Gas Mixing ratio in TIG Welding

오 동수* 김 영식**, 조 상명***

* 창원기능대학 플랜트설비동화과

** 부경대학교 기계공학부 기계설계·생산자동화공학전공

*** 부경대학교 신소재공학부 소재프로세스공학전공

1. 서 론

TIG 용접에서 용입과 비드가 형성되어 가는 물리적 아크 현상을 이해함에 있어서 아크 압력은 매우 중요한 인자 중의 하나이다¹⁻²⁾. 기존의 연구에서는 저전류나 중전류 영역의 TIG 용접에서 텅스텐 전극의 선단각과 용입 형태와의 관계를 플라즈마 기류 등에 의해 고찰하였고¹⁾, 최대 아크압력에 미치는 전극형상의 영향 등을 연구²⁾하였다. 용접부에 작용하는 아크압력의 분포는 결국 운동 에너지의 분포이며, 기존의 연구자³⁾들에 비해 보다 간편한 실험에 의해 아크 에너지 분포특성을 규명하는 연구가 필요하다. 본 연구의 목적은 용접전류와 실드가스 혼합비를 아크압력과 전류밀도 관계로 연결짓는 것이다. 특히 측정된 아크압력에 대한 분포특성을 전류밀도 관계로 유도하는 것이다. 그것을 위하여 저전류에서 대전류 영역까지 실드가스 혼합비에 따른 아크압력을 측정하였고, STS304 판에 대전류 TIG 용접을 실시하여 얻은 비드형상을 아크압력과 전류밀도의 분포에 의해 고찰하였다.

2. 실험방법

Fig. 1은 본 실험에 사용한 아크압력 측정용 장치를 나타내며, 실드 가스는 공업용 Ar가스와 He혼합가스를 유량 20 l/min로 공급하였다.

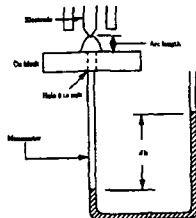


Fig. 1 Schematic diagram for arc pressure measurement

Table 1은 아크압력측정을 위한 용접조건을 나타낸 것이고, Table 2는 STS304 판에 대전류 TIG 용접을 실시한 용접조건을 나타낸 것이다. 용접기는 300A의 인버터 형을 사용하였다.

본 연구에서는 TIG 용접에서 100A~300A 전류 범위에서 아크압력 분포를 측정하였다. 아크

Table 1 Welding condition for arc pressure measurement

Gas	Current	Arc length	Electrode
Ar100%	100A	5 mm	2%Th-W
He33%	200A		φ 3.2
He67%	300A		45°

Table 2 Welding condition for melt run welding(STS304)

Gas	Current	Speed(cpm)	Arc length	Material
Ar100%	300A	20,25,30,	3 mm	STS 304
He67%		35,40		6tx50x200

압력을 측정할 때 Cu block과 마노메터는 고정해 두고 토치를 부착한 지그의 위치를 좌우로 0.5mm씩 이동하여 반경 5.0mm까지 5초 동안 아크를 발생하며 2회씩 실시하였다²⁾.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 전류와 실드가스 조성에 따른 아크압력 분포

Fig. 2~Fig. 4는 각각 용접전류 100A(이하 저전류 영역), 200A(이하 중전류 영역), 그리고 300A(이하 대전류 영역)에서 Ar가스와 He혼합가스의 혼합비에 의한 아크압력 분포를 나타낸 것이다. 저전류에서는 전체적으로 매우 낮은 아크압력 분포를 보였다. 중·대전류 영역으로 갈수록 Ar가스 아크의 최대 아크압력은 급격하게 증가하는 경향을 보였고 아크 중심부의 압력이 매우 크게 되어 압력집중 정도가 심해졌다. 그에 비해 He혼합가스 아크의 최대 아크압력은 완만하게 증가하는 경향을 보였으며, 중·대전류 영역에서 He혼합가스의 아크압력의 분포는 Ar가스의 경우와 비교할 때 아크압력이 현저하게 낮은 분포를 보이며, 아크 중심부의 압력의 집중도가 심하지 않고 주변부까지 넓게 분포되었다.

Ar가스만 사용하는 경우에 중전류 이상에서는 플라즈마 제트로 인한 아크압력이 증가하여 용융지에 압입현상이 생겨서 험핑 비드나 분리비드와 같은 불안정한 비드가 나타나게 되는데⁴⁾ 대전류 고속 용접 등에서 아크압력이 낮은 He혼합가스를 사용하면 안정된 용입과 비드형상을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

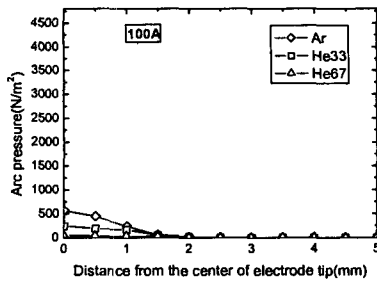


Fig. 2 Arc pressure distribution at 100A

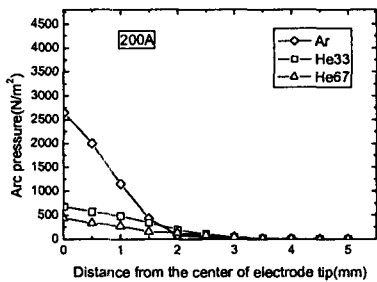


Fig. 3 Arc pressure distribution at 200A

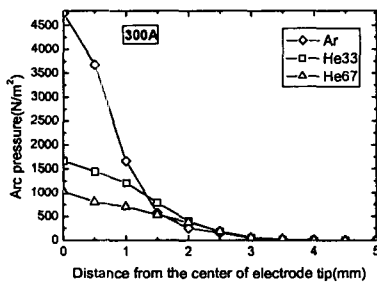


Fig. 4 Arc pressure distribution at 300A

3.2 측정된 아크압력 분포에 의한 전류 밀도의 유도

TIG 용접에서 아크압력은 용융풀 위의 플라즈마 제트의 충돌로 인한 운동에너지 전달에 의해 일어나는 아크 물리학적 현상이다. 아크압력은 용입에 중요한 영향을 미치기도 하지만, 언더컷과 험핑비드 등의 불량을 일으키게 하는 주요한 요소이다⁴⁻⁵⁾.

M.L.Lin 등⁵⁾은 전류에 대한 아크압력의 의존성을 다음과 같이 표현하였다.

$$P_{arc} = \frac{1}{2} \rho v^2 \text{-----(1)}$$

$$v = \sqrt{\frac{\mu_0 I J}{2\pi \rho}} \text{-----(2)}$$

여기서 P_{arc} : 아크압력, ρ : 실드가스의 밀도,

v : 플라즈마 축 속도

위의 식(1)에 식(2)를 대입하여 아래와 같이 아크압력에 의한 전류밀도를 유도할 수 있다.

$$P_{arc} = \frac{1}{2} \rho v^2 = m I J \text{-----(3)}$$

$$J = \frac{P_{arc}}{m I} = \frac{1}{m} \frac{P_{arc}}{I} = k \frac{P_{arc}}{I} \text{-----(4)}$$

$$I = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{R_0} k \frac{P_{arc}}{I} dr d\theta}{I^2} \text{-----(5)}$$

$$k = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{R_0} P_{arc} dr d\theta}{I^2} \text{-----(6)}$$

$$F_{arc} = \int_0^{2\pi} \int_0^{R_0} P_{arc} dr d\theta \text{-----(7)}$$

$$J = k \frac{P_{arc}}{I} = \frac{I}{F_{arc}} P_{arc} \text{-----(8)}$$

여기서 μ_0 : 투자율, I : 전류, J : 전류밀도

F_{arc} : 아크력

따라서 실험을 통하여 측정한 아크압력을 이용하여 아크력 F_{arc} 을 계산할 수 있고, 이들 관계로 식(8)에 의해 전류밀도 J 를 유도할 수 있다. 이것은 N.S.Tsai 등⁴⁾이 열량 측정법으로 전류밀도를 계산하였던 것에 비해 매우 간편하며 향후 용접 아크 물리학을 이해함에 있어서 매우 중요한 과학적인 방법이 될 것으로 기대된다.

Fig. 5는 저전류에서 대전류 영역까지 실드 가스 혼합비에 따른 아크압력을 수치 적분하여 아크력을 계산한 결과이다. TIG 용접에서 동일한

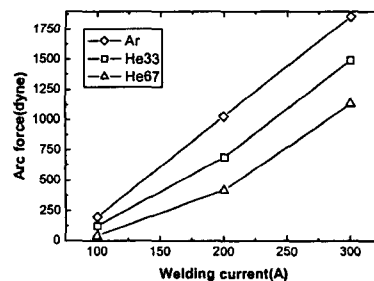


Fig. 5 Arc Force by Ar+He mixing ratio

전극을 쓰고 전류만을 변화시킬 경우 S.I. Rokhlin 등이 발표한 바와 같이 아크력(arc force)은 전류의 제곱에 비례하고, 아크압력도 전류의 제곱에 비례하여 증가하는 것⁶⁾으로 알려져 있다. Ar가스 아크는 S.I. Rokhlin 등이 발표한 바와 같이 아크력이 전류의 증가에 따라 전류의 제곱에 비례하는 경향을 가지지만, He혼합가스 아크의 경우 Ar가스 아크와 다른 경향을 보였다.

Fig. 6~Fig. 8은 저전류에서 대전류 영역까지의 전류밀도 분포를 나타낸 것이다. 아크압력분포 특성에서 고찰한 바와 같이 중·대전류 영역으로 갈수록 Ar가스의 전류밀도는 급격하게 증가하는 경향을 보였고, 아크 중심부의 전류밀도가 매우 크게 되어 전류밀도 집중 정도가 심해졌다. 그에 비해 중·대전류 영역에서 He혼합가스의 전류밀도는 Ar가스의 경우에 비해 낮은 분포

를 보이지만, 아크 중심부의 전류밀도 집중정도가 완화되었으며 주변부까지 넓게 분포하였다.

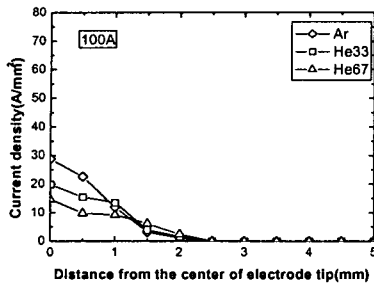


Fig. 6 Current density distribution at 100A

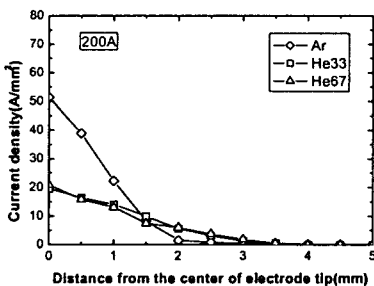


Fig. 7 Current density distribution at 200A

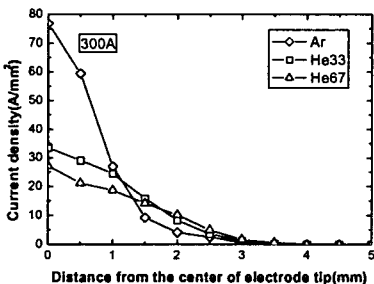


Fig. 8 Current density distribution at 300A

Photo 1은 대전류 영역인 300A에서 Ar가스와 He67 혼합가스로 용접하여 얻은 비드 표면과 마크로 단면 형상을 나타낸 것이다. Ar가스 아크의 경우 아크압력과 전류밀도가 아크 중심부에 매우 집중하게 되어 용접속도 25cpm에서부터 불안정 비드가 형성되기 시작하고, 30cpm에서부터 언더컷이 발생하며, 그 이상의 속도에서는 용접이 불가능하였다. 반면에 He67 혼합가스 아크의 경우 용접속도가 40cpm 이상에서도 용접결함 없이 용접이 가능하였다. 이것은 아크압력 집중정도와 전류밀도 집중정도가 아크 중심부에서 주변부까지 넓게 분포하고 있기 때문이다.

4. 결 론

TIG 용접에서 Ar가스와 He혼합 가스 조성비에 대한 아크압력측정에 의하여 전류 밀도 분포를

Gas	Speed	Surface bead	Cross section
Ar 100%	20cpm		
	30cpm		
	40cpm		
He 67%	20cpm		
	30cpm		
	40cpm		

Photo 1 Bead and cross section of STS304(300A)

유도하였고, STS304 판에 대전류 TIG 용접을 실시하여 비드형상을 아크압력과 전류밀도 관계로 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) TIG 용접에서 아크 중심에서 주변부에 이르기까지 용융지 표면에 대한 아크압력측정에 의하여 전류밀도 분포를 유도하는 과정을 제시 하였다.
- 2) TIG 용접에서 Ar가스의 경우 전류가 증가할수록 전류밀도가 아크 중심부에 집중정도가 심해지고 주변부로 갈수록 아주 낮은 분포를 하며, He혼합가스의 경우는 Ar가스에 비해 전류밀도는 낮지만 아크 중심부의 전류밀도 집중정도가 현저히 완화되어 전류가 전체에 고루 분포하는 특징을 보였다.
- 3) STS304 판위에 대전류 TIG 용접을 하였을 때 He혼합가스에 의한 경우 언더컷이나 험핑 비드와 같은 결함 없는 용접이 가능한 것은 He혼합가스의 아크압력과 전류밀도 집중정도에 의해 설명할 수 있었다.

참고문헌

1. K.Ando, J.Nishikawa, and H. Wada:A Consideration on the Mechanism of Penetration in Arc Welding, Journal of JWS, 37-4(1968), 359-368(in Japanese)
2. K. Hiraoka, A. Okada and M. Inagaki : Effect of Electrode Geometry on Maximum Arc Pressure in Gas Tungsten Arc Welding, Journal of JWS, 3-2(1985), 246-252(in Japanese)
3. N. S. Tsai and T. W. Eagar : Distribution of the Heat and Current Fluxes in Gas Tungsten Arcs, Metallurgical Transactions B, 16B(1985), 841-846
4. S. M. Cho : A Study on the Bead Stability in High Speed TIG Welding, KOSME, 18-3, 1994, 68-77(in Korean)
5. M. L. Lin and T. W. Eagar : Pressure Produced by Gas Tungsten Arcs, Metallurgical Transactions B, 17B(1989), 601-607
6. S. I. ROKHLIN and A. C. GUU : A Study of Arc Force, Pool Depression, and Penetration During Gas Tungsten Arc Welding, Welding Journal, 72-12(1992), 381s-390s