

대전류 고속 TIG 용접에서 열유속이 용입 형상에 미치는 영향

Effect of Heat Flux on the Penetration Shape of TIG Welding with High Current and High Speed

오 동수*, 김 영식**, 조 상명***

* 창원기능대학 플랜트설비자동화과

** 부경대학교 기계공학부 기계설계·생산자동화공학전공

*** 부경대학교 신소재공학부 소재프로세스공학전공

1. 서 론

TIG 용접에서 용입, 용접부의 크기와 형상이 형성되는 아크 물리학적 현상 중에서 아크압력¹⁻³⁾과 전류밀도⁴⁾는 매우 중요한 인자이다. 용접부에 작용하는 아크압력의 분포는 양극 모재위에 작용하는 플라즈마 켈의 충돌로 인한 운동 에너지의 분포이다⁵⁻⁷⁾. 대전류 영역에서 실드 가스 변화에 따라 핑거비드나 접시형 비드와 같은 용입 형상이 다르게 형성되는 것은 아크 압력분포 만으로 설명하는데 한계가 있다. 아크 용접의 용입 형성은 용접 입열과 용접열원의 분포로 설명될 수 있다⁴⁾. 따라서 대전류 고속 용접에서 발생하는 용입 형상을 예측할 수 있는 에너지 분포특성에 대한 연구가 필요하다.

본 연구의 목적은 TIG 용접의 대전류 영역에서 He 혼합에 따라 열유속(heat flux)이 용입 형상에 미치는 영향을 규명하는 것이다. 그것을 위하여 STS304 판재에 He 혼합에 따른 대전류 고속 TIG 용접을 실시하였다. 실험으로부터 얻어진 용접비드 형상과 용입 형상에 대하여 아크 물리학적 관점에서 고찰하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

본 연구에서는 Table 1과 같은 용접조건으로 자동 용융주행(melt run)에 의한 아래보기 자세의 TIG 용접을 실시하였다. 전극은 2% Th-W (직경 3.2mm)을 이용하여 텅스텐 전극이 마이너스(-)인 DCEN(직류 정극성)을 사용하였고, 전극 선단 원추 각은 45°로 가공된 sharp tip을 사용하였다. 실드 가스의 유량은 20ℓ/min로 공급하였다.

토치의 작업각과 진행각은 0°로 하였고, 용접 결합이 발생되지 않는 안정비드 영역의 최대 용접속도가 어느 정도까지 가능한가에 대하여 실험하였다. 각 용접조건에 용접비드 형상과 단면 형

상을 촬영하여 상호 비교하였고, 그에 관하여 아크 물리학적 관점에서 고찰하였다.

Table 1 Welding condition for melt run TIG welding (STS304)

Material	Current	Arc length	Gas	Speed (cm/min)
STS 304 6tx50x200	300 A	3 mm	Ar	20, 30, 40,
			He33	50, 60, 70,
			He67	80, 90, 100

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고속 용접 비드형상에 미치는 He 혼합의 영향

Photo 1은 STS304 판재에 대전류 고속 용융주행 TIG 용접하였을 때 얻어진 표면 비드 형상과 각 용접부의 단면형상을 나타낸 것이다. Fig. 1과 2는 각각 용접전류 300A 영역에서 용접속도에 따른 비드 형상에 미치는 He 혼합의 영향을 나타낸 것이다. Fig. 1과 같이 용접속도가 증가함에 따라 용접 입열의 감소로 용접 비드 폭은 감소하는 경향을 보였다. Fig. 2에서 용접속도가 증가함에 따라 Ar 가스 아크의 형상비(aspect ratio, D/W)가 증가하는 것은 Ar 가스 아크의 경우 대전류 영역에서 아크 중심부에 아크 압력이 크게 집중⁶⁾하게 되므로 핑거비드(finger bead) 형성으로 용접 비드 폭에 비해 용입 깊이가 깊어졌기 때문이다.

Photo 1과 같이 He67 가스 아크의 경우 안정비드 최대 용접속도가 80cm/min까지 증가하였다. 즉 He67 가스 아크는 Ar 가스 아크에 비해 4배의 용접속도 증가 효과가 얻어졌다. 따라서 Ar 가스에 He 가스의 혼합이 대전류 고속 TIG 용접의 용입 형상에 큰 영향을 미치며, He 혼합량이 증가할수록 대전류 고속화가 더욱 증가되었다.

Gas	Speed	Surface bead	Cross section
Ar	20cpm		
	30cpm		
	40cpm		
He67	30cpm		
	60cpm		
	90cpm		

Photo 1 Surface bead and cross section for 300A

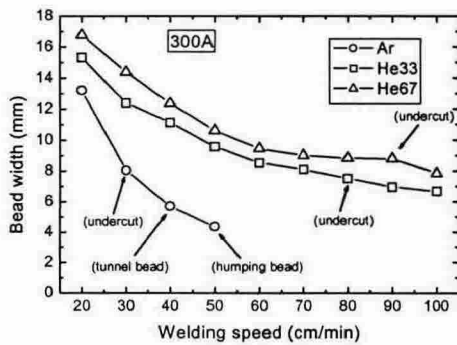


Fig. 1 Relation between welding speed and bead width

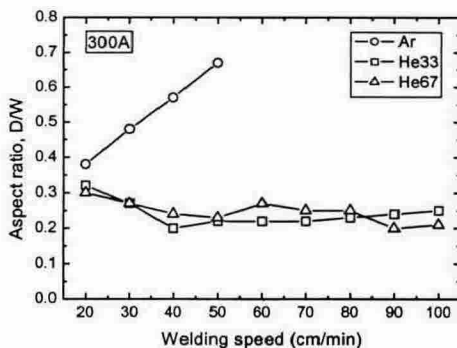


Fig. 2 Relation between welding speed and aspect ratio

3.2 측정된 아크 압력분포에 의한 열유속 분포의 유도

본 저자들은 이전의 연구^{6,8)}를 통하여 TIG 용접에서의 실드가스 혼합비에 따라 측정된 아크 압력으로부터 전류밀도 분포를 유도하였다. 많은 연구자들은 열량측정법에 의해 양극 모재위의 열량을 측정하여 열유속 분포와 전류밀도를 계산⁴⁾하였다. 그러나 본 저자들의 연구에 의해 다음 과정을 통하면 측정된 아크 압력분포로부터 보다 간편한 방법에 의해 열유속 분포를 유도할 수 있다.

TIG 용접에서 아크 압력을 측정 하였을 때⁶⁾, 각 위치에서 아크 길이가 일정하였기 때문에 아크 전압이 일정하다고 가정할 수 있다. 따라서 식 (1)과 같이 열유속을 유도할 수 있다.

$$H = \frac{V}{W} \times A \quad (1)$$

Fig. 3과 같이 Ar 가스 아크는 아크 중심부의 최대 열유속은 매우 큰 값을 보이며, 주변부로 갈수록 아주 낮은 분포를 한다. 이에 비해 He 혼합가스 아크의 경우 Ar 가스 아크에 비해 최대 열유속은 현저하게 낮은 값을 보이며, 아크 중심부에서 주변부까지 고루 분포하는 경향을 나타냈다. 특히 Ar 가스 아크의 최대 열유속은 He67 가스 아크에 비해 2.35배 만큼 아크 중심부에 크게 작용하고 있고, 아크 직경 2.0mm 이내에 집중하여 작용하고 있다. 이러한 Ar 가스 아크와 He 혼합가스 아크의 열유속 분포의 차이는 Ar 가스 아크에서는 핑거비드를, He 혼합가스 아크에서는 접시형 비드 형태의 용입 형상을 갖게하며, 대전류 고속 용접화의 가능성 여부를 결정하게 될 것으로 생각된다.

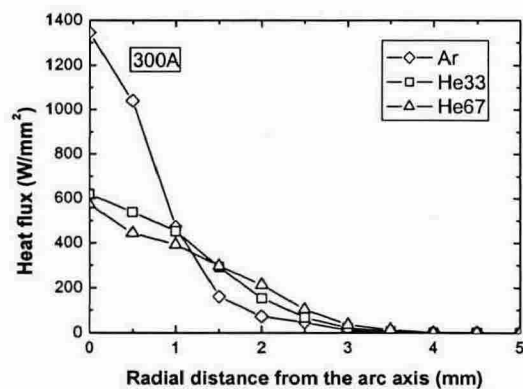


Fig. 3 Heat flux distribution with He mixing ratio

3.3 용융효율에 미치는 He 혼합의 영향

일부 연구자들은^{2,9)} TIG 용접에서 실드 가스나 텅스텐 전극의 선단의 형상에 따라 용융효율의 차이를 설명하고 있다. 이에 대한 정의는 문헌에

서 찾아볼 수 없어서 용융효율을 다음과 같이 정의한다.

$$M \text{ (mm}^3\text{/J)} = \frac{W \text{ (mm}^2\text{)} \cdot A \text{ (mm}^2\text{)}}{H \text{ (J/mm}^2\text{)}} \quad (2)$$

Photo 2와 같이 Ar 가스 아크와 He67 가스 아크 용접 단면적의 차이를 나타냈다. 이러한 용접 단면적의 차이는 He 혼합에 따른 용접 입열의 증가로 설명할 수 있다⁶⁾. 그러나 이러한 용접 단면적의 증가가 용접 입열 만의 효과에 의한다면 용융효율은 동일해야 할 것으로 판단된다. 그러나 Fig. 4와 같이 Ar 가스 아크와 He67 가스 아크의 용융효율에 큰 차이를 보였다. 따라서 실드 가스 종류에 따라 Photo 2 (a)와 같은 핑거비드 형성과 (b)와 같은 접시형 비드형태의 용입형상의 차이를 보인 것은 실드 가스 종류에 따른 열유속 분포와 용융효율의 차이에 의한 것이다. 즉 He67 가스 아크는 Ar 가스 아크에 비해 더 작은 열유속을 가지고 모재를 용융시킬 수 있기 때문에 대전류 고속화가 가능해 진 것으로 생각된다.

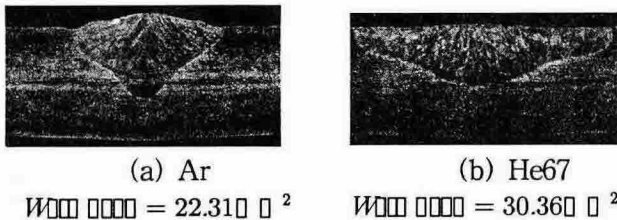


Photo 2 Illustration of penetration shape and weld area at 300A, 30cm/min

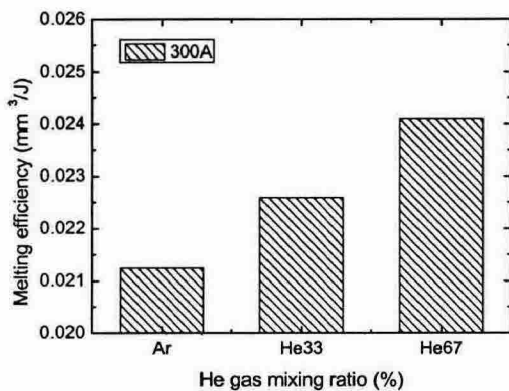


Fig. 4 Effect of He mixing ratio on melting efficiency

4. 결 론

대전류 고속 TIG 용접에서 열유속이 용입형상에 미치는 영향을 규명하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 측정된 아크 압력분포로부터 아크 물리학적 관계를 이용하여 열유속 분포를 유도하였다.

2) Ar 가스 아크의 열유속은 아크 중심부에서 현저히 높아지고 주변부에서 낮은 분포를 하여 핑거비드 형태를 보이며, He 혼합가스 아크의 열유속은 아크 중심부에서 매우 낮았으나 주변부까지 고루 분포하여 접시형 용입 형태를 보였다.

3) He 혼합가스 아크가 Ar 가스 아크에 비해 용접 단면적이 증가된 것은 열유속 분포의 차이와 용융효율이 증가되었기 때문이며, He67 가스 아크는 Ar 가스 아크에 비해 더 작은 열유속을 가지고 모재를 용융시킬 수 있어서 대전류 고속화가 가능하였다.

참고문헌

1. M. L. LIN and T. W. Eagar, Pressures Produced by Gas Tungsten Arcs, METALLURGICAL TRANSACTIONS B, 17B(1986), p601~607.
2. Kazuo Hiraoka, Akira Okada and Michio Inagaki, Effect of Electrode Geometry on Maximum Arc Pressure in Gas Tungsten Arc Welding, Journal of JWS, 3(2), 1985, p10~p16(in Japanese)
3. Sang-Myung Cho and Sang-Goun Seo, The Effect of Configuration and Surface Polishing in Tungsten Electrode Tip for Gas Tungsten Arc Welding on the Arc Characteristics, Journal of KWS, 19(1), 2001, p33~39(in Korean)
4. N. S. Tsai and T. W. Eagar, Distribution of the Heat and Current Fluxes in Gas Tungsten Arcs, Metallurgical Transactions B, 16B, 1985, p841~846.
5. AWS : Welding Handbook, Vol. 2, 8th Ed, (1991)
6. Dong-Soo Oh, Yeong-Sik Kim, and Sang-Myung Cho : The characteristics of Arc Pressure Distribution by Shield Gas Mixing Ratio in TIG Welding, Journal of KWS, 23-1(2005), 50-56(in Korean)
7. S. I. Rokhlin and A.C.Guu, A Study of Arc Force, Pool Depression, and Weld Penetration During Gas Tungsten Arc Welding, Welding Journal, 72(8),1993, p381s~390s.
8. Dong-Soo Oh, Yeong-Sik Kim, and Sang-Myung Cho : Derivation of Current Density Distribution by Arc Pressure Measurement in TIG Welding, Science and Technology of Welding and Joining, accepted for publication 2005(reference paper No. STWJ 511).
9. A. Okada and H. Nakamura, Anode Behavior in GTA Welding and Its Effect on Melting Thin Plate, JWS 12-1(1994), p94-100(in Japanese)