

활성 플럭스 TIG 용접에 의한 용융효율 향상과 변형 저감의 기술 개발

Development of technology for improving melting efficiency and decreasing deformation by active flux TIG welding

함효식*, 박인기*, 문영덕*, 조상명**

* 부경대학교 대학원 소재프로세스 공학과

** 부경대학교 신소재공학부 소재프로세스공학전공, pnwcho@pknu.ac.kr

1. 서 론

TIG 용접에서는 용입의 한계 때문에 깊은 Groove 가공을 하여 사용한다. 이 때, Groove를 채우는 용착금속에 의한 응고 수축과 과대한 입열로 인한 변형이 문제시 되고 있다. 변형을 줄이기 위해서는 용착금속의 양을 줄이고 용융효율을 높여야 한다. 이를 위해 용입이 깊고 높은 용융효율을 가지는 용접공정 개발이 필요하다.

Plasma 용접이 일반적으로 TIG보다 용입이 깊지만, Fillet 용접부에서는 토치의 접근성이 좋지 않아 깊은 용입을 얻기 힘들다. 스테인리스강에서 활성 플럭스 TIG(A-TIG)용접이 일반 TIG(C-TIG) 용접보다 용입이 깊다는 연구 결과가 있다¹⁾. A-TIG의 용입 증가 메커니즘으로서는 Marangoni effect²⁾, 음이온들로 인한 아크 수축효과, 절연 플럭스에 의한 아크 수축효과 등이 있다³⁾.

본 연구의 목적은 깊은 용입을 가지는 A-TIG 용접을 연강에 적용하여 용융효율 향상과 변형 저감의 기술을 개발하는 것이다. 따라서, 본 연구는 연강에서 A-TIG에 의한 용융효율 향상실험과 C-TIG와 A-TIG의 변형 비교 실험을 하였다.

2. 사용 재료 및 실험 방법

2.1 사용 재료

후피를 제거한 길이 100mm × 폭 50mm × 두께 6mm의 Mild Steel을 사용하였고, Active flux₂를 용매에 현탁시켜 사용하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 C-TIG와 A-TIG의 전류 변화에 따른 용융효율 비교 실험

Table 1은 C-TIG와 A-TIG의 전류 변화에 따른 용융효율 비교 실험의 용접 조건을 나타내었고, 각 조건별로 3회씩 실시하였다. Fig. 1은 용접모식도를 나타낸다. 아래보기 용접으로 실험하였으며, 아크 모니터링 시스템(WAM 3000N)으로 용접 전류, 전압을 측정하였다. 용접 후 Fig. 1의 플럭스 경계면을 기준으로 ±20mm 절단하여 용접 횡단면을 관찰하였다.

Table 1 Welding condition for experiments

Fixed	Electrode	DCEN Φ 3.2 2% Th-W 60°
	Welding speed	20cpm
	Arc length	1mm
	Shield gas flow rate	Ar 100% 15L/min
Varied	Current	100, 200, 300A

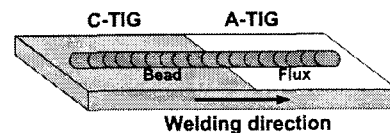


Fig. 1 Schematic of welding

2.2.2 C-TIG와 A-TIG의 동일 전류시 변형 비교 실험

Table 2는 C-TIG와 A-TIG의 동일 전류시 변형 비교 실험의 용접 조건을 나타내었다. 300A 20cpm으로 각 3회 실시하였고, 두 개의 시편을 맞대기 이음으로 이음부 양 끝부분을 가접하였다. 가접 후 초기 변형량 측정하고, 용접 후 변형량을 측정하여 그 차를 계산하였다.

Table 2 Welding condition for experiments

Fixed	Electrode	DCEN Φ 3.2 2% Th-W 60°
	Current	300A
	Welding speed	20cpm
	Arc length	1mm
Varied	Shield gas flow rate	Ar 100% 15L/min
	Process	C-TIG, A-TIG

Fig. 2는 용접 시작부, 종료부, 변형량 측정부를 나타낸 것이다. 용접부 길이는 80mm이며, 용접선과 직각방향으로 40mm점 위치에서 변형

량을 3점 측정하였다. 변형 측정 후 시편 중앙을 절단하여 용접 횡단면을 관찰하였다.

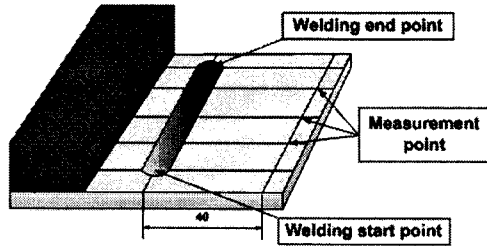


Fig. 2 Schematic of measurement point

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 C-TIG와 A-TIG의 전류 변화에 따른 용융효율 비교

Table 3에 전류 변화에 따른 비드외관 및 전압 파형을 나타내었다. 비드외관에서 플럭스 경계면을 기준으로 A-TIG의 비드폭이 좁아지고, 전압 파형에서 플럭스 경계면에서 전압이 증가하는 경향을 보인것이다.

Table 3 Weld surface and voltage waveform with weld current

Current	Weld surface	Voltage waveform
100A		
200A		
300A		

Table 4는 용접횡단면을 나타내었다. Fig. 3, 4, 5, 6, 7은 조건별로 3회씩 실시하여 비드폭, 용입, 형상비, 용융단면적, 용융효율⁵⁾을 평균하여 나타내었다.

용융효율은 아래의 두식을 사용하여 구하였으며, 이때, Q_m 은 상수이므로 제외시키고, Machine output과 용융금속단면적을 이용하여 용융효율(Melting efficiency)을 ME의 형태로 나타내었다.

$$Z_m = \frac{Q_m(AW)v}{VI}$$

$$ME = \frac{Z_m}{Q_m} = \frac{AW}{(VI/v)}, \text{ mm}^3/J$$

Q_m : 모재를 녹이는데 필요한 에너지, J/mm^3

AW : 용융금속단면적, mm^2

VI/V : Machine output, J/mm

Table 4 WM cross section with weld current

Current	C-TIG	A-TIG
100A		
200A		
300A		

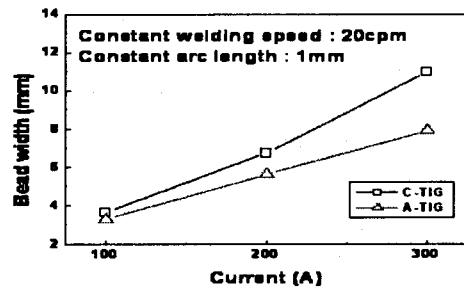


Fig. 3 Relation between current and bead width

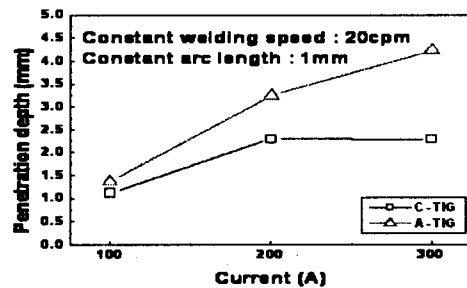


Fig. 4 Relation between current and penetration depth

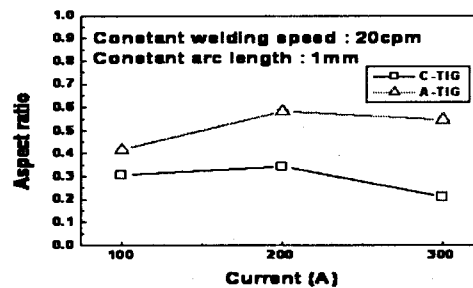


Fig. 5 Relation between current and aspect ratio

모든 전류 대역에서 A-TIG가 C-TIG보다 비드폭은 좁고 용입은 깊어서, 형상비가 크다. 용융단면적도 A-TIG가 C-TIG보다 넓어서 용융효율이 향상되었다. 그리고 전류 증가에 따라 그 차이는 더 커지는 경향이 보인다.

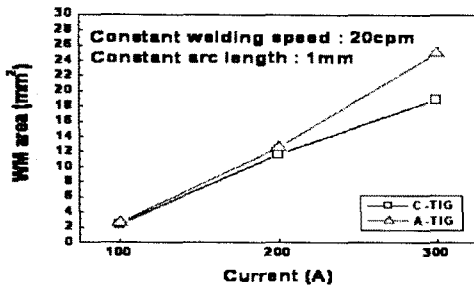


Fig. 6 Relation between current and WM area

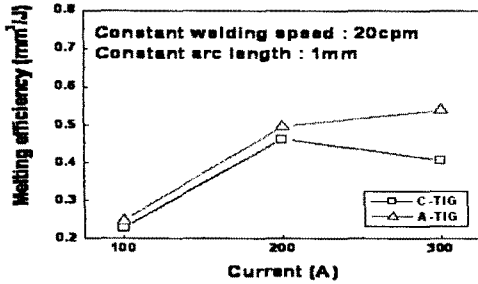


Fig. 7 Relation between current and melting efficiency

3.2 C-TIG와 A-TIG의 동일 전류시의 변형 비교

Table 5는 300A, 20cpm에서의 C-TIG와 A-TIG의 비드외관 및 용접횡단면을 나타낸다.

Table 5 WM cross section with weld process

	Weld surface	Cross section
C-TIG (300A)		
A-TIG (300A)		

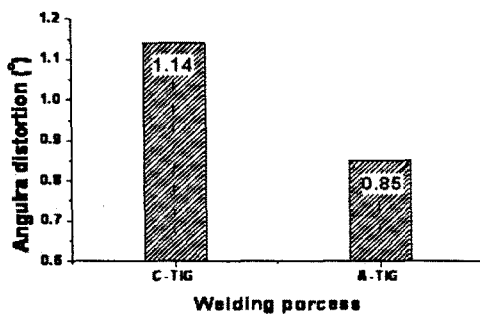


Fig. 8 Effect of weld process on deformation

Fig. 8은 Fig. 2에 의해 측정된 변형량을 나타내었다. A-TIG가 C-TIG보다 변형량이 적은 것을 알 수 있다. Table 6은 C-TIG와 A-TIG에

서 각 3회씩 실시하여 비드폭, 용입, 형상비, 용융단면적, 용융효율, 변형량, 각변형량을 평균내어 나타내었다. A-TIG가 C-TIG보다 용융면적이 넓으므로 용융효율이 높았고, 변형량은 적었다⁴⁾.

Table 6 WM cross section property with weld process (300A)

	C-TIG	A-TIG
Bead width (mm)	9.98	8.35
Penetration depth (mm)	2.50	4.02
Aspect ratio	0.25	0.48
WM area (mm ²)	19.01	22.91
Melting efficiency (mm ³ /J)	0.41	0.48
Angular distortion (°)	1.14	0.85

4. 결 론

활성 플럭스 TIG 용접에 의한 용융효율 향상과 변형 저감의 기술 개발의 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) A-TIG가 C-TIG보다 비드폭은 좁고 용입은 깊어서, 형상비가 큰 경향을 보이고, 전류 증가에 따라 그 차이가 더 커지는 경향을 보인다.
- 2) 모든 전류 대역에서 A-TIG가 C-TIG보다 용융단면적이 넓어지므로 용융효율이 향상되고, 전류 증가에 따라 용융단면적과 용융효율의 차이는 더 커지는 경향을 보인다.
- 3) 300A, 20cpm 맞대기 이음 용접시 A-TIG가 C-TIG보다 용입이 깊고, 용융단면적이 크어도 각변형량은 적었다. 즉 용융효율이 높고 각변형량은 적었다.

참 고 문 헌

1. TIG welding with single-component fluxes, Paulo J. Modenesi, Journal of materials processing technology 99(2000) 260-265
2. Numerical study of gas tungsten arc plasma with anode melting, Manabu Tanaka, Science direct Vacuum 73 (2004) 381-389
3. Mechanisms giving increased weld depth due to a flux, J J Lowke, M Tanaka and M Ushio, Journal of physics D: applied physics, 38 (2005) 3438-3445
4. Plasma 용접에 의한 lap joint 필릿 용접부의 변형에 미치는 용융효율의 영향, 조진안, 대한용접학회 추계학술대회 2006. 5
5. Thermal efficiency of arc welding processes, J. N. Dupont, Welding journal 1995. 12