

박판고속플라즈마아크용접에서 용융효율에 미치는 공정인자의 영향

The effect of clamping condition on melting efficiency in plasma arc welding of steel sheet

문영덕*, 박인기*, 홍성준**, 조상명***

* 부경대학교 대학원, ** LG전자, *** 부경대학교

1. 서 론

박판의 맞대기 용접에서는 낮은 전류, 낮은 입열로 용접을 실시해야 용락을 방지 할 수 있다. 그러나 입열이 부족하여 모재를 충분히 녹이지 못하게 되면 또 다른 문제가 발생하게 된다. 따라서 낮은 입열로 높은 용융효율을 얻을 수 있는 프로세스를 개발 적용하여야 한다.

중후판 용접의 경우 용융효율을 높이기 위한 연구가 활발히 진행 되어 왔고 현재도 진행 중이지만 박판 용접에선 용융효율을 증가시키기 위한 연구가 미흡한 실정이므로 이에 대한 연구가 요구되고 있다.^{1),2)}

본 연구에서는 박판 플라즈마 아크용접에서 stand-off, 용접 속도 그리고 waveform의 변화가 용융효율에 어떤 영향을 주는지에 대해 정량적으로 평가하기 위해 실험하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 실험 재료

본 실험에서는 폭100mm×길이250mm×두께0.5mm의 EGI를 사용하였고, PAW(Plasma Arc Welding)을 이용해 melt-in 용접을 실시하였다.

Table 1은 실험에 사용된 EGI의 기계적 특성을 나타낸 것이다.

Table 1 Properties of base metal

Material	Thickness	Yield strength	Tensile strength
EGI	0.5mm	305MPa	365MPa

2.2 실험 방법

Fig. 1은 클램프 장치의 모식도를 나타낸 것으로 각각의 용어를 정의하였다. 클램프판과 백킹판 사이에 모재를 넣고 클램핑 장치로 고정 시킨 후 melt-in 용접을 실시하였다. 이때 사용된 클램프판과 백킹판의 소재는 7-3 황동이며 열전도도는 120W/m·K이다.

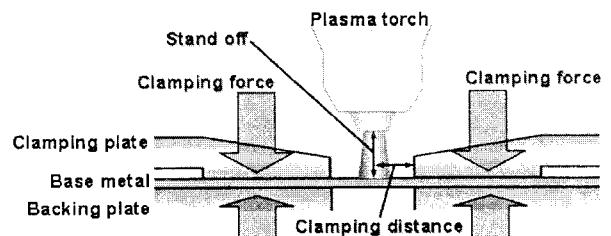


Fig. 1 Schematic of clamp

2.2.1 실험 조건

Table 2는 본 실험에서 공통적으로 사용된 클램핑 조건을 나타낸 것이다. 이 때 클램핑력은 양쪽의 클램프판 각각에 가한 힘을 말한다.

Table 2 Fixed clamping condition

Clamping distance	2.5mm
Clamping force	30kgf
Clamping materials	7.3 brass

Table 3은 각 실험별 조건을 나타낸 것이다. Ex. 1은 stand-off, Ex. 2는 용접 속도 그리고 Ex. 3은 waveform에 따른 용융효율 비교 실험의 조건을 나타내고 있다. 여기서 stand-off (arc length)는 플라즈마 토치의 Cu insert nozzle 끝단부에서 모재 표면까지의 최단 거리이다. 용접 속도는 15mm/s에서 35mm/s까지 5mm/s 단위로 증가 시키면서 실험하였다. 용접 속도 증

가시 용접 전류도 증가시켜 모든 조건에서 단위 길이당 입열량이 42J/mm±5%로 일정하게 유지될 수 있도록 하였다. waveform 변경 실험에서는 CW (Continuous Wave)로 용접을 실시하였고 용접 속도를 5mm/s 단위로 증가 시켜 5mm/s에서 35mm/s까지 실험하였다. 그리고 용접 속도 변경 실험과 마찬가지로 용접 속도 증가시 전류를 증가시켜 단위 길이당 입열량을 42J/mm±5%로 일정하게 유지하였다.

Table 3 Experimental condition

Ex.1	Stand-off	1, 2, 3, 4, 5mm
	Welding speed	25mm/s
	waveform	30Hz pulse
	Current	I _p 80A, I _B 30A
Ex.2	Stand-off	2.5mm
	Welding speed	15, 20, 25, 30, 35mm/s
	waveform	30Hz pulse
	Current	I _p 45~130A, I _B 30A
Ex.3	Stand-off	2.5mm
	Welding speed	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35mm/s
	waveform	CW
	Current	15A~80A

2.2.2 용융효율 측정 방법

Fig. 2는 용접된 표면의 비드를 나타낸 것이다. 비드 길이 방향으로 2.5mm의 비드폭을 0.1mm 간격으로 측정한 결과 평균 비드 폭이 3.26mm, 최대 최소 차이가 0.16mm, 표준 편차가 0.045로 펄스 용접의 특징인 비드폭 변화가 나타나지 않았다.

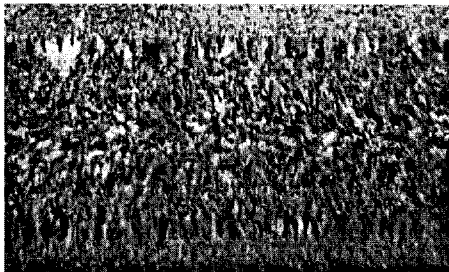


Fig. 2 Bead surface of welded base metal

각각의 조건으로 용접된 시편은 Fig. 3과 같이 3곳을 절단하여 횡단면적을 구하여 3개의 평균을 이용하여 용융효율을 계산하였다.

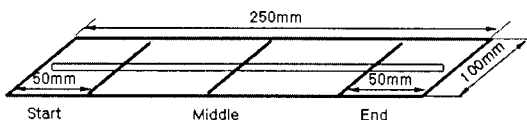


Fig. 3 Position of cutting line

이때 사용된 용융효율 식³⁾은 다음과 같다.

$$\text{용융효율} = (MEt) / (\int_0^t I U dt) \quad (1)$$

여기서 M은 용융속도(g/sec), E는 감열과 잠열의 합(J/g), I는 전류(A), U는 전압(V) 그리고 t는 시간(sec)이다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 Stand-off에 따른 용융효율의 검토

Fig. 4는 Ex.1 실험조건으로 stand-off에 따른 용융효율을 나타낸 것 이다. Stand-off가 5mm에서 2mm로 감소하면 용융효율이 증가하다가 2mm이하로 감소하면 오히려 용융효율이 감소하는 것을 알 수 있었다. 이 실험에서는 stand-off 1.8mm 근방 에서 가장 높은 용융효율이 나타났다.

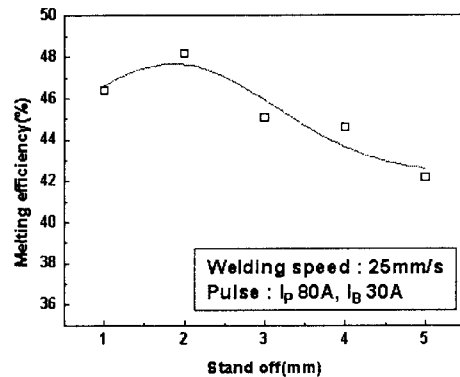


Fig. 4 The effect of stand-off on melting efficiency

3.2 용접 속도에 따른 용융효율의 검토

Fig. 5는 Ex.2 실험조건으로 용접 속도에 따른 용융효율을 나타낸 것이다. 용접 속도가 15~35mm/s로 증가하면 용융효율은 37.1%~46.4%로 약 10%정도 크게 증가하는 것을 알 수 있었다.

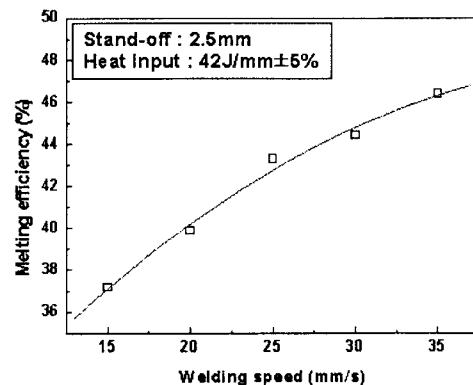


Fig. 5 The effect of welding speed on melting efficiency

일정량의 모재를 용융시키고자 할 때 용접 속도를 증가시키면 용융효율이 증가하므로 보다 낮은 입열량으로 동일한 용융금속의 양을 얻을 수 있다. 이처럼 입열량을 감소시키면 용접 후 발생하는 용접 변형을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 용접 변형은 박판뿐만 아니라 중후판의 경우에도 동일하게 적용될 것이다.

3.3 waveform에 따른 용융효율의 검토

Fig. 6은 Ex.3 실험조건으로 waveform별로 용접 속도 변화에 따른 용융효율을 나타낸 것이다. Ex.2의 실험 결과도 함께 나타내었다. 두 조건 모두 용접 속도가 증가하면 용융효율은 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 동일한 조건에서 펄스로 용접할 경우 CW 용접에 비해 평균 4%정도 높은 용융효율을 나타내었다. 따라서 적은 입열로 용접하는 것을 원한다면 펄스 용접하는 것이 보다 유리할 것으로 판단된다.

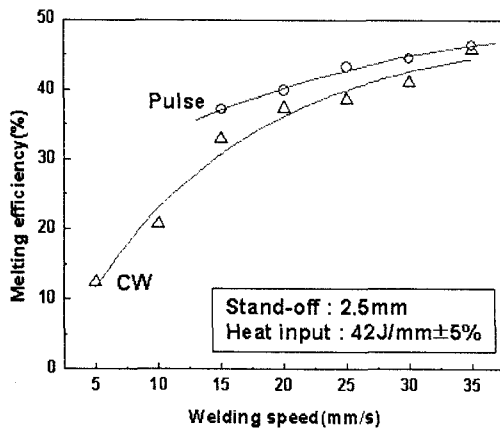


Fig. 6 The effect of waveform on melting efficiency

본 실험에서는 용접 속도가 25mm/s인 경우 40% 근방의 매우 높은 용융효율이 나타났다. 일반적으로 알려진 PAW의 용융효율은 25%이하⁴⁾로 매우 낮지만 이는 일반적인 PAW의 낮은 용접 속도를 고려한 것이다. 그러나 본 실험에서는 고속 PAW 용접을 적용하여 최대 46%의 높은 용융효율을 얻을 수 있었다. 이와 유사한 결과는 Fig. 7⁵⁾에서 확인할 수 있었다.

Fig. 7에서도 용접 속도가 증가할수록 용융효율은 증가하고 25mm/s 이상의 고속 용접에서는 용융효율이 40% 이상이 되는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 측정된 용융효율은 적절한 것으로 판단된다.

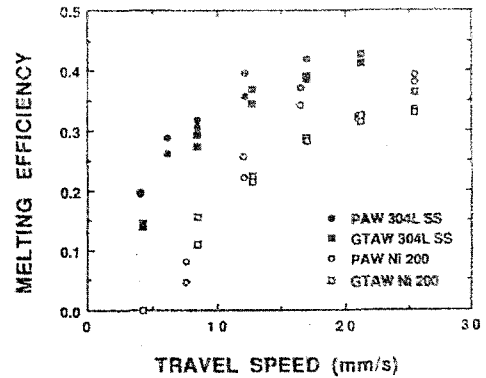


Fig. 7 Dependence of melting efficiency on type of base metal.

4. 결 론

t0.5 EGI 박판 플라즈마 아크용접에서 공정 인자의 영향에 대한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Stand-off 변경 실험 결과 1.8mm에서 가장 높은 용융효율을 나타내었다.
- 2) 동일한 입열량으로 용접시 용접 속도가 증가하면 용융효율이 크게 증가하는 것을 알 수 있었다. 따라서 일정량의 모재를 용융시키고자 할 때 용접속도를 증가시키면 단위 길이당 입열량을 감소시켜 용접 변형을 감소시킬 수 있을 것이다.
- 3) 펄스 용접에 비해 CW로 용접 시 용융효율이 다소 낮은 것을 알 수 있었다. 낮은 입열로 동일한 용융금속의 양을 형성 하려면 펄스를 사용하는 것이 도움이 될 것으로 판단된다.
- 4) 일반적인 PAW의 용융효율은 25%이하로 용융효율이 대체로 낮지만 본 논문에서는 40%이상의 높은 용융효율을 얻을 수 있었다. 이는 25mm/s의 고속 용접 때문인 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. J. Tusek, M. Suban, International Journal of Hydrogen Energy, pp. 369~376, (2000)
2. 함효식, 부경대학교 석사학위 청구논문, (2007)
3. J. Tusek, M. Suban, Journal of Materials Processing Technology 133, pp. 207~213, (2003)
4. J. N. DuPONT & A. R. MARDER, Welding research, pp. 406S-416S, (1995)
5. P.W. FUERSCHBACH, G.A. KNOROVSKY, Welding research, pp. 287S-297S, (1991)