

Plasma 용접에 의한 Lap joint 필릿 용접부의 변형에 미치는 용융효율의 영향

The effect of melting efficiency on the deformation of lap joint fillet weld by plasma arc welding

조진안*, 강성관**, 김인태***, 이영규***, 오동수****, 조상명*****

* 부경대학교 대학원 소재프로세스공학과

** 웰텍 시스템

*** (주)파워웰전자

**** 한국폴리텍VII창원대학산업설비자동화과

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

1. 서 론

용접 공정의 특성상 항상 열 변형을 동반한다. 이러한 열 변형은 수정작업을 동반하고, 부수적인 작업 공정은 생산 원가 상승요인 등으로 작용한다. Plasma 용접공정은 타 Process보다 아크 에너지 밀도가 높아 상대적으로 변형에 유리한 Process로 알려져 있지만 용접 변형에 자유로울 수는 없다.

따라서 본 연구에서는 Plasma 용접에 의한 lap joint 필릿 용접부의 변형에 미치는 용융효율의 영향에 대해 검토하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 실험 재료

본 실험에서는 폭 50mm × 길이 100mm × 두께 6mm의 Mild steel plate로 bead on plate 및 lap joint fillet 용접을 시편 길이 방향으로 약 90mm 실시하였다. 전극으로는 $\Phi 2.4$ 2%Th-W를 사용하였다.

2.2 실험 방법

Table 1은 본 실험의 공통 용접조건이다.

Table 1 Welding Condition

Power source	Powwel 150XP
Cu insert nozzle	Hole diameter 2.4
Setback	0.5, 1.0mm
Pilot gas	Ar 100%, 0.25~0.5 l/min
Shield gas	Ar 100%, 10 l/min

실험 A, B, C, D의 용접 조건은 Table 2에 나

타내었다. 실험 A, B, C는 Bead on plate 용접 Without filler로 실시하였다. 실험 D는 Lap joint fillet 용접이고 Deposited metal area를 동일하게 Wire 송급 속도를 조절하였다. 용접전류, 전압은 1000A급 홀센서, 100V급 전압 센서를 사용하여 아크 모니터링 시스템(WAM 4000D)으로 계측하였다. Lap joint 시험편의 각변형량은 길이방향으로 용접한 반대쪽에서 판 두께 변화에 의해 측정하였고 그 측정 점은 길이방향의 중심점과 그 좌우 30mm 2점 모두 3점에서의 값을 평균해서 얻었다.

Table 2 Welding condition for experiment

Exp.	Pilot gas	Arc length	set current	Welding speed	Wire feed rate
A	0.5 l/min	2, 4, 6mm	120, 115, 100A	15cpm	without filler
B	0.5 l/min	2, 4, 6mm	115A		
C	0.4~0.5 l/min	4mm	69, 115, 150A	7.5, 15, 22.5cpm	
D	0.3~0.4 l/min	4mm	90, 115, 140A		65, 130, 195cpm

3. 실험 결과 및 고찰

식 (1)을 이용하여 용융효율을 식(2)와 같이 나타내었다.

$$Z_m = \frac{Q_m AW v}{VI} \quad (1)$$

$$ME = \frac{Z_m}{Q_m} = \frac{AW}{VI/v} \quad (2)$$

Z_m : Melting efficiency Q_m : 용접 금속을 녹이는 데 쓴 에너지(J/mm³)
 AW : 용접 금속 단면적(mm²)
 I : 전류, V : 전압, v : 용접 속도(mm/sec)
 VI/v : 결보기 입열량(J/mm)

3.1 아크 길이가 용융효율에 미치는 영향

Fig. 1은 아크 길이에 따른 비드 외관과 단면을 나타낸 것이다. 동일한 결보기 입열량(914J/mm)으로 할 때 아크 길이가 2, 4, 6mm의 경우 용접 금속 단면적(AW)은 8.33, 4.73, 3.94mm²이었다. 아크 길이가 길어짐에 따라 AW는 감소하였다. 아크 길이가 길어질수록 아크의 에너지 손실이 증가되고 용융 효율이 감소하여 AW가 줄어든다. 아크 길이가 짧아 질수로 깊은 용입과 AW량을 증가시킬 수 있고, 아크 길이가 길어질수록 얇은 용입과 퍼진 형태의 비드를 생성시킨다.

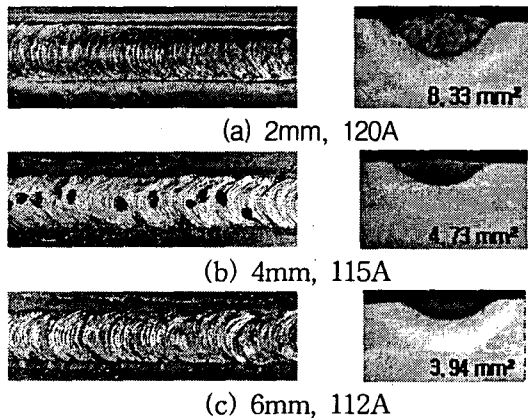


Fig. 1 Result of experiment A with various arc length (15cpm, bead on plate without filler)

Fig. 2는 아크 길이와 용접 전압의 관계를 나타낸다. 동일한 결보기 입열량에서 아크 길이가 길어질수록 전류는 감소하고 전압은 증가한다.

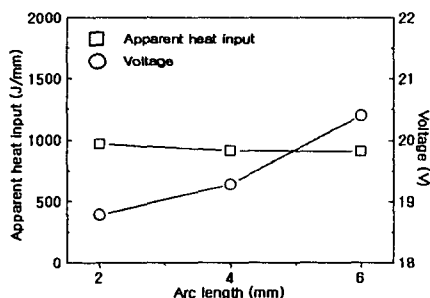


Fig. 2 Relation of apparent heat input and Voltage to arc length (15cpm)

Fig. 3 아크 길이에 따른 용융효율의 관계를 나타낸다. 아크 길이가 증가할수록 용융효율은 감소한다. Plasma용접에서 용융효율을 증가시키기 위해서는 아크 길이가 짧아야 한다.

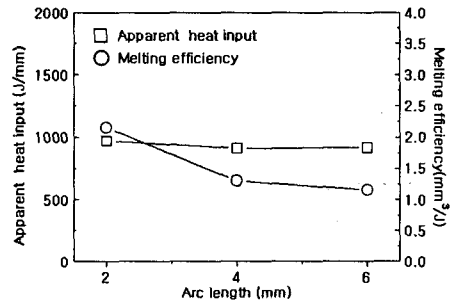


Fig. 3 Relation of apparent heat input and melting efficiency to arc length (115A, 15cpm)

3.2 아크 길이가 입열량에 미치는 영향

동일한 설정전류 115A에서 아크 길이가 증가함에 따라 입열량이 증가하였다. 아크 길이 2, 4, 6mm에서 AW는 7.21, 4.73, 4.66mm²였고, 용접 전압은 17.0, 19.3, 21.8V였다.

Fig. 4는 아크 길이에 따른 입열량과 용융효율의 관계를 나타낸다. 아크 길이가 증가할수록 결보기 입열량은 증가 하지만 용융효율은 감소한다.

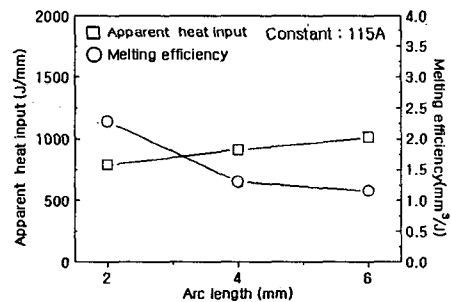


Fig. 4 Relation of apparent heat input and melting efficiency to arc length (115A, 15cpm)

3.3 용접속도가 용융효율에 미치는 영향

입열량을 914(J/mm), 아크 길이가 4mm로 동일하게 유지하면서 용접 속도 7.5, 15, 22.5cpm의 AW는 1.61, 4.73, 5.78mm²였다. 용접속도 7.5cpm의 적은 AW는 소전류의 Plasma 아크로부터 열이 전도되어 모재의 열영향부로 퍼져나가 용융지가 크게 되지 못하기 때문에 용접 금속이 작아진 것으로 판단된다.

Fig. 5는 용접속도에 따른 용융효율을 나타낸다. 용접속도가 증가할수록 용융효율은 급격히 증가한다.

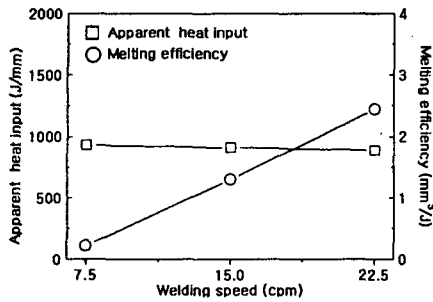


Fig. 5 Relation of apparent heat input and melting efficiency to welding speed (Arc length 4mm)

3.4 Lap joint fillet 용접에서 용접속도가 각 변형에 미치는 영향

Fig. 6은 Lap joint fillet용접의 동일한 설계각장 3.3mm에서의 비드 외관과 마크로 단면을 보여준다. 용접속도 7.5, 15, 22.5cpm에서 AW는 6.34, 8.45, 7.46mm²이었다. 용접 속도가 증가 할수록 적은 입열로도 AW을 증가 시킬 수 있었다.

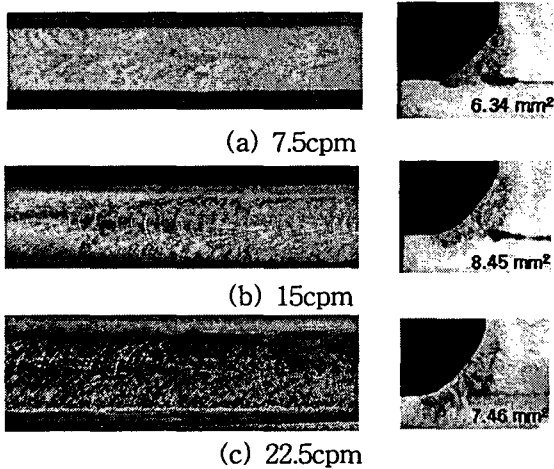


Fig. 6 Result of experiment D with various welding speed (arc length 4mm, design leg length 3.3mm, with filler)

Fig. 7은 용접속도에 따른 각변형량과 용융효율의 관계를 나타낸다. 용접속도 7.5, 15, 22.5cpm에서 각변형량은 0.85°, 0.63°, 0.28°로 용접 속도가 증가할수록 용융효율은 증가하고 각 변형은 감소한다.

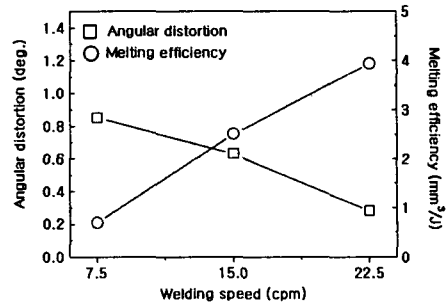


Fig. 7 Relation of angular distortion and melting efficiency according to welding speed

Fig. 8은 용융효율에 따른 각변형량을 측정하는 것으로 용융효율이 증가 할수록 전도되는 열이 감소하고 그래서 각변형은 감소한다.

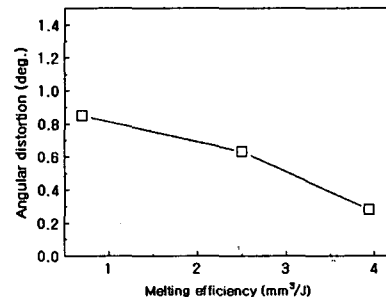


Fig. 8 Relation of angular distortion according to distance welding direction

4. 결 론

1) 평판 Bead on plate 용접에서 Arc length가 적어지면 용융효율이 커졌고 용접속도가 낮아지면 용융효율은 높아졌다.

2) Lap joint fillet용접에서 설계 각장 3.3mm를 만족시키기 위한 실험에서 용접속도가 증가할수록 용융효율은 증가하였고, 각변형량은 현저히 감소하였다.

용융효율이 증가하면 각변형량이 감소하는 이유는 용융지로부터 모재로 전도되는 열손실이 감소하였기 때문이라고 판단된다.