

프라즈마 키홀용접에 있어 공정변수의 영향

강봉용 · 김희진

한국생산기술연구원

1. 목적

두께 11mm인 Ti소재를 대상으로 플라즈마 키홀용접에 있어서 주요 공정변수의 영향을 실험적으로 확인하고자 하였음.

2. 실험방법

용접에 사용된 모재는 ASTM grade I에 해당하는 화학조성을 가진 두께 11mm의 시판재를 사용하였다. 플라즈마 키홀용접을 위한 용접전원은 일본 N사의 350A급 용접기를 사용하였으며, 시편은 별도의 지그를 제작하여 고정하였다. 플라즈마 키홀용접에 영향을 줄 수 있는 인자로는 용접전류, 용접속도, 용접가스(프라즈마가스, 보호가스, 백킹가스)유량, 전극팁의 안쪽으로 들어간 거리(setback), 전극봉 선단의 각도, 노즐 직경 및 arc length등이 있다. 본 실험에서는 용접전류, 용접속도 및 플라즈마 가스의 유량을 주요 변수로 선정하였으며, 그 외의 인자들은 일정하게 유지하였다.

3. 실험결과 및 고찰

전술한 바와 같이 여러 가지 인자가 플라즈마 키홀용접에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 플라즈마 키홀용접의 성공여부는 용접아크의 집중성을 좋게하여 penetration arc를 얻는 것이 무엇보다도 중요한데, 이를 조절하는 변수로는 플라즈마 가스의 유량, 노즐의 직경 및 전극팁의 안쪽으로 들어간 거리(setback)등이다. 본 실험에서는 이들 변수중 플라즈마 아크의 집중성에 가장 큰 영향을 미치는 플라즈마 가스 유량에 대해 용접전류, 용접속도 및 루트 갭과의 상호연관성을 조사하고자 하였다.

그림 1은 용접전류 240A, 용접속도 20cm/min 및 루트 갭 0인 상태에서 플라즈마 가스의 유량을 4 l/min에서 7 l/min까지 1 l/min간격으로 변화시켜 용접을 실시한 결과를 보여주고 있다. 플라즈마 가스의 유량이 적절한 경우(P2,P3) 집중적이고 안정된 penetration아크의 생성으로 에너지가 집중되어 정상적인 키홀용접이 실현된 결과 결합이 없는 양호한 용접부의 단면과 이면 비드를 보여 주었으나, 플라즈마 가스의 유량이 너무 적은 경우(P1)는 아크 집중성이 약화됨으로 인해 키홀이 형성되지 않아 미용착부 및 내부에 큰 기공이 형성되었으며, 플라즈마 가스의 유량이 많은 경우(P4)는 키홀이 형성되어 미용착부는 생기지 않으나 아크가 불안정하여 불량한 비드 및 내부에 기공이 발생하였다.

시 편 (No)	전류 (A)	용접속도 (cm/min)	Gap (mm)	가스유량 (l/min)
P1	240	20	0	4
P2				5
P3				6
P4				7

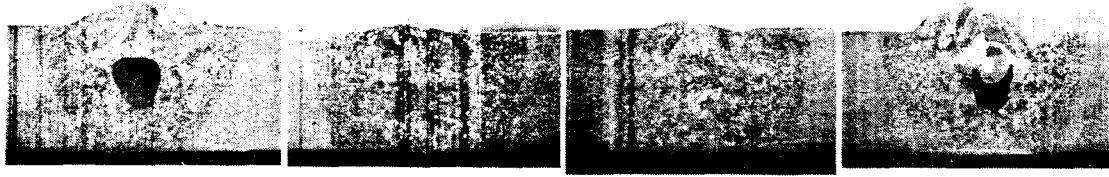


그림 1. 플라즈마 가스 유량에 따른 용접부 단면 형상

플라즈마 가스의 유량이 부족하여 키홀이 형성되지 않은 조건(P1)하에서 전류 변화에 따라 키홀의 형성되는지의 여부를 조사하였다. 그 결과는 그림 2에 나타난 바와 같다. 비록 플라즈마 가스의 유량이 다소 낮더라도 용접전류를 증가시키면 높은 전류 밀도로 인해 키홀용접이 성공적으로 이루어짐을 보여준다.

시 편 (No)	전류 (A)	용접속도 (cm/min)	Gap (mm)	가스유량 (ℓ/min)
A1	40	20	0	4
A2	260			

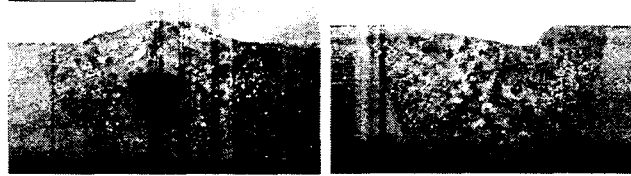


그림 2. 용접전류 변화에 따른 용접부 형상(4 ℓ/min)

한편 적정 플라즈마 가스 유량이라 할지라도 전류가 낮게 되면 낮은 에너지 집중과 플라즈마가스의 흐름의 약화로 미용착부 및 기공등의 결함이 발생됨(A3)을 그림 3에서 보여 주고 있다.

시 편 (No)	전류 (A)	용접속도 (cm/min)	Gap (mm)	가스유량 (ℓ/min)
A3	220	20	0	5
A4	240			
A5	260			



그림 3. 용접전류 변화에 따른 용접부 단면 형상(5 ℓ/min)

또한 용접속도도 플라즈마 키희형성에 영향을 주는 것으로 나타났다. 그림 4는 플라즈마 가스의 유량이 부족하여 키희가 형성되지 않은 조건(S2=P1)하에서 용접속도 변화에 따라 키희의 형성되는지의 여부를 조사한 결과로서, 비록 플라즈마 가스의 유량이 다소 낮더라도 용접속도를 낮추면 단위 길이당 에너지가 집중되어 키희가 원활하게 형성됨(S1)을 보여준다.

시 편 (No)	전류 (A)	용접속도 (cm/min)	Gap (mm)	가스유량 (ℓ/min)
S1	240	15	0	4
S2		20		

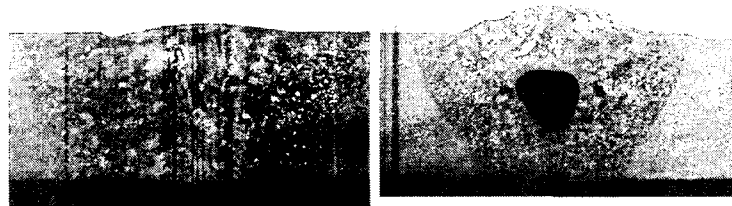


그림 4. 용접속도 변화에 따른 용접부 단면 형상

루트 갭은 플라즈마 유량이 다소 낮아서 플라즈마 가스 흐름의 세기 약하더라도 용적이 루트까지 원활하게 흘러내리는 통로 역할을 하여 미용착의 해소 및 이면비드 형성에 도움을 줄 것으로 판단된다. 그림 5와 그림 6은 용접전류 240A, 260A 및 플라즈마 가스 유량 4ℓ/min, 5ℓ/min하에서 루트 갭을 0mm, 0.5mm, 1.0mm로 변화시켜 용접을 행한 결과이다. 플라즈마 유량이 낮은 경우(4ℓ/min) 루트 갭이 0mm인 경우는 미용착부 및 기공의 결함이 발생되었으나 루트갭이 증가하면 이면비드가 형성됨을 보여주고 있으며, 플라즈마 가스 유량이 정상적인 조건(5ℓ/min)하에서는 과도한 루트갭은 과도한 이면비드를 형성함(G6)을 보여주었으며, 아크 또한 불안정 하였다.

시 편 (No)	전류 (A)	용접속도 (cm/min)	Gap (mm)	가스유량 (ℓ/min)
G1	240	20	0	4
G2			0.5	
G3			1.0	



그림 5. 루트 갭의 변화에 따른 용접부 단면 형상(4ℓ/min)

시 편 (No)	전류 (A)	용접속도 (cm/min)	Gap (mm)	가스유량 (l/min)
G4	260	20	0	5
G5			0.5	
G6			1.0	

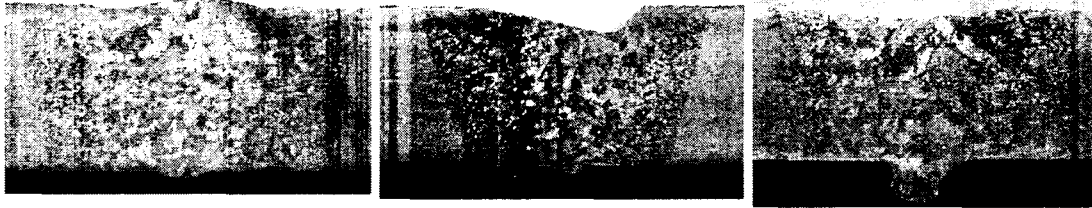


그림 6. 루트 갭의 변화에 따른 용접부 단면 형상(5 l/min)

한편 적정 용접조건이라 할지라도 용접부에 언더컷이 형성되는 것이 특징인데 이는 용접선의 중심과 플라즈마가스 흐름의 중심이 일치되지 않거나, 이중 아크가 발생되어 아크가 한쪽으로 과도하게 쏠림으로 생기는 것으로 추측된다.

4. 결론

플라즈마 키홀 용접실험을 통하여 플라즈마 가스의 유량과 용접전류, 용접속도 및 루트 갭과의 상호연관성을 살펴 보았다. 성공적인 키홀용접을 실현하기 위해서는 플라즈마 아크의 집중성을 높여 높은 전류밀도와 에너지가 집중되도록 하여야 한다. 아크 집중의 크기는 노즐직경, setback, 및 플라즈마가스의 유량에 의해 조절되는데 노즐직경의 경우 용접전류에 의해 결정되는 요소이며, setback이 증가하면 아크가 집중되는 것으로 알려져 있다. 특히 플라즈마 가스의 흐름의 세기 정도는 키홀 용접의 성공 여부를 결정하는 중요한 요소가 될 것으로 판단된다. 본 실험에서는 플라즈마 가스 유량이 arc penetraton을 좌우하는 중요한 인자라 할지라도 이는 용접전류, 용접속도 및 루트 갭과의 밀접한 연관성을 갖고 있는 것으로 나타났다. 즉 어느 정도 optimum 유량이면 용접전류, 용접속도 및 루트 갭을 적절히 조합함으로써 폭 넓은 용접조건을 사용할 수 있어 플라즈마 키홀용접을 용이하게 실현할 수 있을 것으로 사료된다.