

研究論文

CO₂용접시 Spatter발생에 미치는 Ti의 영향

安玲鎬* . 李鍾鳳* . 方國守** . 嚴東錫***

Effect of Ti on Spatter Generation of CO₂ Welding

Y. H. An*, J. B. Lee*, K. S. Bang** and D. S. Um***

Key words : CO₂ Welding (CO₂용접), Titanium (Ti), Welding Workability (용접작업성), Droplet Transfer Frequency (용적이행주파수), Short circuit Transfer (단락이행), Globular Transfer (Globular이행), Arcing Time (아크 시간), Spatter (스패터)

Abstract

The effects of Ti addition in welding wire on the spatter generation and the droplet transfer phenomena were investigated.

With increasing Ti content, the spattering rate was decreased but the ratio of large size spatter ($D \geq 1.0\text{mm}$) was increased in both short circuit and globular transfer mode of CO₂ welding. In short circuit transfer region, the arcing time was increased and the droplet transfer frequency was decreased with increasing Ti content. In globular transfer region, the transition current and voltage to globular transfer was lowered and the welding condition region for stable globular transfer was widened with increasing Ti content.

1. 서 론

근년 용접 공정의 자동화 추세에 따라 GMA (Gas Metal Arc) 용접의 적용률이 급신장되고 있으며, 특히 CO₂용접은 경제적이고 고능률이라는 점 때문에 많은 주목을 받고 있다. 그러나 일반적으로

CO₂용접은 스패터 발생이 많고 아크가 불안정하다는 단점이 있다¹⁻³⁾.

CO₂용접시의 스패터 발생은 아크 안정성과 직접적인 관계가 있으며, 용접 와이어의 성분, 용접전원 및 용접조건 등 여러가지 요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려지고 있다⁴⁻⁸⁾. 이들 요인 중 용접 와이어의 성분으로서는 C, Si, Mn, Ti, REM 등의

* 정회원, POSCO 기술연구소 강재용접연구팀

** 정회원, 포항산업과학연구원 접합가공연구팀

*** 정회원, 부산대학교 조선해양공학과

영향이 크며^{6,8)}, 특히 CO₂용접시 용적이행형태, 용융금속의 탈산 및 아크 안정화를 위하여 첨가되는 원소인 Ti은 용접 와이어의 품질 특성을 지배하는 중요한 원소로 알려지고 있다^{9,10)}. 이러한 Ti이 단락이행 영역에서 아크 안정성 및 스패터 발생특성에 미치는 영향에 대해서는 이미 검토되어 있으며^{9,10)}, 저자도 용적이행현상에 미치는 Ti의 영향에 대해서는 일부 검토한 바 있다¹¹⁾. 그러나 용적이행 현상에 미치는 Ti의 영향을 명확하게 규명하기 위하여는 스패터 발생 특성과 용적이행현상에 대한 정량적인 평가와 함께 이들 상호간의 상관성을 조사하는 것이 중요하지만 이러한 관점에 대해서는 아직 불명확한 점이 많고, 특히 globular이행 영역에 대한 연구도 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 단락이행 및 globular이행 영역에서 스패터 발생 특성에 미치는 Ti의 영향을 검토하기 위하여 Ti함량에 따른 용적이행 특성, 즉 용적이행형태, 용적이행주파수 및 아크시간 등의 변화를 정량적으로 평가하고, 스패터 발생 특성과의 상관성을 규명함으로써 CO₂용접시 용접부 품질 및 용접작업성 향상에 기여하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 시험재

시험재는 시판재인 직경 1.2mm의 저전류 CO₂용접용 와이어로서, 기본성분은 AWS ER70-G, 6 (JIS YGW11, 12)에 상당하는 용접재료를 사용하였다. Table 1은 시험재의 화학성분을 나타낸 것으로, Ti함량은 0~0.24% 범위에서 4단계로 변화시켰다.

Table 1. Chemical compositions of CO₂ welding wires

Mark	Chemical compositions (wt. %)						Remarks
	C	Si	Mn	P	S	Ti	
T0	0.06	0.95	1.45	0.015	0.010	-	AWS
T1	0.05	0.74	1.50	0.014	0.010	0.16	AWS ER70S-G
T2	0.06	0.79	1.42	0.012	0.013	0.19	
T3	0.07	0.83	1.64	0.013	0.010	0.24	

2.2 스패터 발생량의 측정

GMA용접시 발생하는 스패터를 포집할 수 있는 시험방법은 아직 규격화되어 있지 않다. Fig. 1은 본 실험에서 사용한 스패터 포집장치의 개략도를 나타낸 것으로서, 그 형상은 용접중 비산되는 스패터를 용이하게 포집하기 위하여 반실린더형으로 하였으며 재질을 Cu로 하여 용접중 비산되는 스패

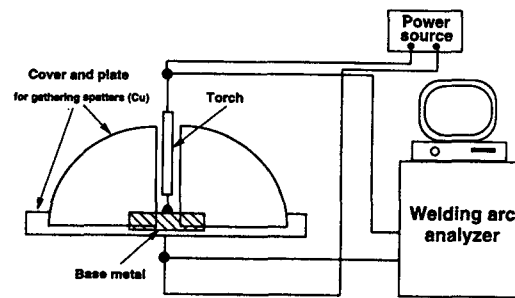


Fig.1 Apparatus for spatter collection

터가 장치의 벽면에 응착되는 것을 방지하였다. 스패터 발생실험은 400' × 150° × 25' mm 크기의 SS400강재 표면에 길이방향으로 250mm가 되도록 bead-on-plate 용접을 실시하였으며, 모재와 토오치간의 거리는 15mm로 하였다. 또한 용접회수는 측정에 필요한 일정량 이상의 스패터량을 확보하기 위하여 시편당 3회로 하였다. 스패터의 발생률은 (1)식과 같이 용착금속에 대한 스패터의 중량 비로서 구하였고, 포집된 스패터를 직경에 따라 D1 (D < 0.25mm), D2 (0.25 ≤ D < 1.0mm) 및 D3 (D ≥ 1.0mm)로 분류하여 (2)식으로부터 각각의 상대적인 입도별 발생비율을 구하였다.

$$\text{Spattering rate (\%)} = \frac{W_s}{W_w} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

W_w : 용착금속의 중량 (g)

W_s : 스패터 중량 (g)

$$\text{Ratio of } D_i = \frac{D_i}{D_1 + D_2 + D_3} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

(i = 1, 2, 3)

D_1 : D < 0.25

$$D_2 : 0.25 \leq D < 1.0$$

$$D_3 : D \geq 1.0$$

D : Diameter (mm)

스페터 포집을 위한 용접조건은 CO₂용접시 전형적인 단락이행 및 globular이행을 나타내는 140A-22V 및 320A-36V조건으로 제한하고, 용접속도는 30cm/min로 일정하게 하였으며 인버터식 CO₂용접기를 사용하였다. 한편 스페터의 발생과 용적이행 특성간의 상관성은 용접 아크평가장치¹²⁾를 사용하여 조사하였다. 즉 스페터 포집을 위한 시험용접 중 10초 동안의 아크전압 신호를 3회씩 반복 측정하여 용적이행주파수 및 아크시간 등을 측정하였으며, 각 용접조건에 따른 비교 검토를 위해서는 이들의 평균값을 이용하였다.

본 내용에서는 편의상 용접중의 순간적인 용접전압을 아크전압으로 표기하여 평균전압의 의미인 용접전압과 구분하였다.

2.3 용적이행 형태의 평가

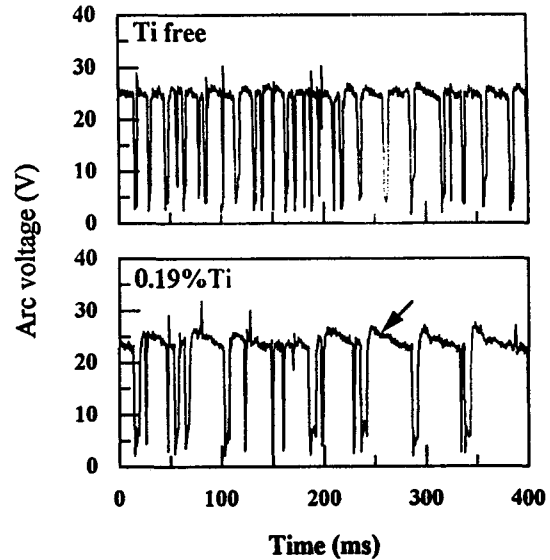
용적이행형태는 용접아크 평가장치¹²⁾를 사용하여 용접중 500msec 동안의 아크전압 변화를 각 조건당 3회씩 반복 측정한 후 그래픽 처리하여 평가하였다.

용접조건은 용접전류를 저전류, 중전류 및 대전류 영역으로 크게 구분하였다. 즉, 대전류 영역은 280, 320, 340A, 중전류 영역은 200, 220, 250A, 저전류 영역은 120, 140, 160A로 변화시켰으며, 용접속도는 30cm/min로 일정하게 하였다. 각 전류 조건별 용접전압의 변화는 용접이 가능한 범위로 한정하고, 최저전압으로부터 최대전압까지 2V씩 증가시켰다.

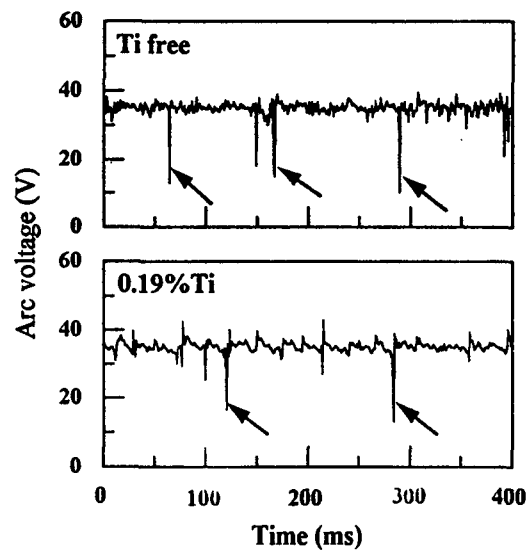
3. 시험결과 및 고찰

3.1 아크전압의 변화

Fig. 2는 Ti이 첨가되지 않은 T0재와 0.19%첨가된 T2재에 대하여 140A-22V와 320A-36V의 용접조건에 있어서 아크전압의 변화를 나타낸 것이다. 먼저 140A-22V의 경우 용적이행 형태는 Ti함량에



(a) 140A-22V



(b) 320A-36V

Fig.2 Effect of Ti content on arc voltage change

관계없이 시험재 모두 아크시간과 단락시간으로 이루어지는 전형적인 단락이행 형태를 보이고 있으나, 용적이행 횟수는 Ti함량에 따라 차이를 보이고 있다. 즉 T0재 (0%Ti)는 400ms동안 19회 정도의 이행횟수를 보이는 반면, T2재 (0.19%Ti)의 경

우는 8회 정도의 이행횟수를 보임으로써, Ti함량이 증가함에 따라 용적이행 횟수가 현저히 감소하고 있다. 한편 320A-36V의 경우는 전술한 단락이행형태와는 달리 아크전압의 변화로부터 이행현상의 명확한 구분은 곤란하지만, 다소의 주기성을 보이는 형태¹²⁾를 나타내며 Ti함량이 0.19%인 T2재는 T0재에 비해 아크전압의 주기성을 비교적 명확하게 관찰할 수 있다. 또한 불안정한 아크현상인 순간단락 현상 (Fig. 2중 화살표)도 Ti함량이 증가함에 따라 점차 감소하고 있어 Ti의 첨가에 의해 아크가 안정화됨을 알 수 있다.

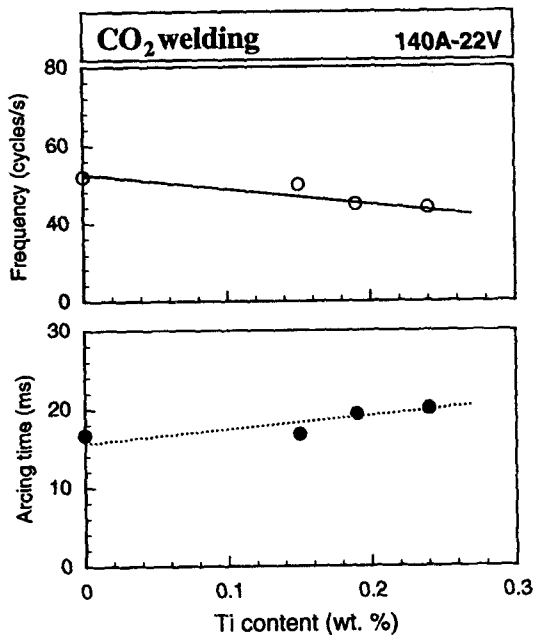


Fig. 3 Effect of Ti content on droplet transfer in low current range

한편 Fig. 3은 단락이행영역에서 Ti함량에 따른 용적이행주파수 및 아크시간의 변화를 나타낸 것으로, Ti함량이 증가함에 따라 아크시간은 길어지는 반면 용적이행주파수는 감소하고 있다. 즉 Ti를 첨가하지 않은 경우 평균 아크시간은 16ms, 용적이행주파수는 52cycle/s인데 비하여, Ti를 0.24% 정도로 첨가하면 평균 아크시간은 20ms 정도로 길어지고, 용적이행주파수는 41cycle/s로 감소하고 있다. 따라서 Ti함량의 증가는 단락이행을 구성하

는 아크시간을 증대시키는 효과가 있으며, 이로 인하여 용적이행주파수가 감소함을 알 수 있다. 특히 Ti함량의 증가에 따라 아크시간이 길어지는 효과는 용접중 이행되는 용적의 크기에 직접적인 영향을 주어 최종적으로 스패터발생 특성에도 영향을 미치리라 생각되며 이에 대하여는 3.4절에 상세히 기술하였다.

3.2 용적이행 형태

Fig. 4는 용접전류를 120A로 부터 340A로 증가시키고, 각 용접전류 조건에서 용접전압을 용접이 가능한 최저전압으로부터 2V씩 증가시켜 용접이 가능한 최대전압까지 용접을 행한 후, 각 용접조건에서 용적이행형태를 평가하여 Ti함량별로 정리한 것이다. 용적이행형태는 Ti함량에 관계없이 저전류 조건에서는 단락이행영역, 대전류 조건에서는 globular이행영역, 또한 증전류-저전압 조건에서는 단락이행으로부터 globular이행으로 변화하는 천이영역을 나타내고 있으며, 이러한 이행형태의 변화는 100% CO₂용접에서 전형적인 것으로 알

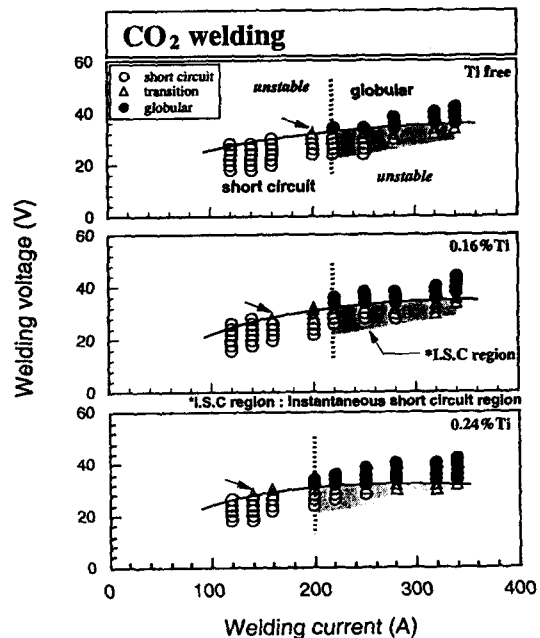


Fig. 4 Variation of droplet transfer modes with welding conditions

려지고 있다¹²⁾. 한편 globular이행 형태가 나타나기 시작하는 용접조건 및 안정적인 globular이행이 가능한 용접조건 범위는 Ti함량에 따라 차이가 있다. 먼저 globular이행이 나타나는 용접조건은 T0재는 200A-32V이지만, T1재에 있어서는 160A-28V, T3재에 있어서는 140A-28V의 용접조건에서 나타나고 있다. 즉 Ti함량이 증가할수록 globular이행이 나타나는 용접조건이 저전류-저전압측으로 이동하고 있다. 또한 안정한 globular이행영역의 용접조건 범위도 Ti함량이 증가할수록 넓어짐을 알 수 있다. 즉 T0재의 경우는 용접전류 220A와 용접전압 32V이상인 영역이지만, T3재의 경우는 용접전류 200A와 용접전압 30V이상인 영역에서 안정한 globular이행이 이루어지고 있어, Ti 함량이 증가하면 안정한 globular이행을 위한 용접조건 범위가 보다 낮은 용접전류 및 용접전압 영역으로 확대됨을 알 수 있다.

이상과 같이 Ti는 globular이행이 나타나는 용접조건을 저전류-저전압측으로 이동시키고, 안정한 globular이행영역을 넓히는 효과가 있음을 알 수 있다.

3.3 스패터 발생량

Fig. 5는 단락이행 영역인 140A-22V와 globular이행 영역인 320A-36V의 용접조건에 있어서 Ti함량

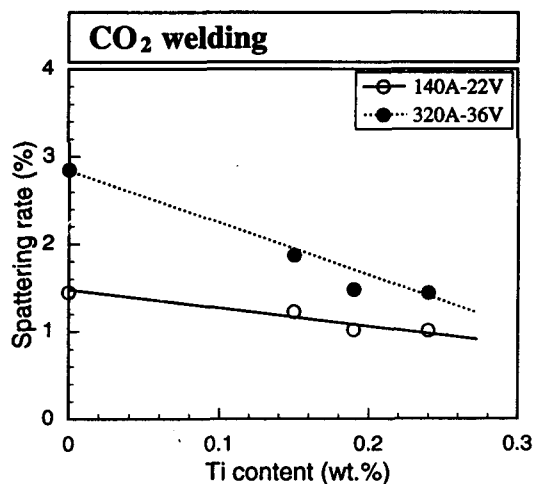


Fig. 5 Effect of Ti content on spattering rate

에 따른 스패터 발생률의 변화를 나타낸 것이다. 먼저 스패터 발생률은 Ti함량에 관계없이 globular이행 영역의 경우가 단락이행 영역에 비하여 전반적으로 높은 값을 나타내고 있으며, 이는 단락이행에 비하여 globular이행의 경우 용접전류가 320A로서 용접중 이행되는 용적이 크기 때문이라 생각된다. 또 Ti함량에 따른 스패터 발생률의 변화는 이행 형태에 관계없이 거의 직선적으로 감소하는 경향을 보이고 있으나, 감소하는 정도는 용적이행 형태에 따라 다소 차이를 보이고 있다. 즉 Ti함량이 0%에서 0.24%로 증가함에 따라 스패터 발생률은 단락이행 영역에서는 1.42%에서 1.02%로 30%정도 감소하였으나, globular이행 영역에서는 2.8%에서 1.42%로서 약 50% 감소하며 감소폭이 현저함을 알 수 있다.

한편 용접중 발생되는 스패터중 비교적 미세한 D₁ 및 D₂스패터는 비산되는 도중에 응고되어 피용접물에 도달하기 때문에 용접후 제거하기가 쉽다. 그러나 D₃스패터와 같은 대립의 스패터는 비산되는 도중에 응고되지 못하고 반 용융 상태로 피용접물에 도달하여 부착되기 때문에 제거가 용이하지 않고, 작업환경에 따라서는 화재의 위험성도 있다¹⁾. 따라서 용접의 자동화 및 Robot화의 측면에서는 특히 대립인 D₃스패터의 발생이 문제점으로 지적되고 있다. 따라서 본 연구에서는 D₃스패터 발생특성에 초점을 두고자 한다.

Fig. 6은 포집된 스패터를 입도별로 분류한 후

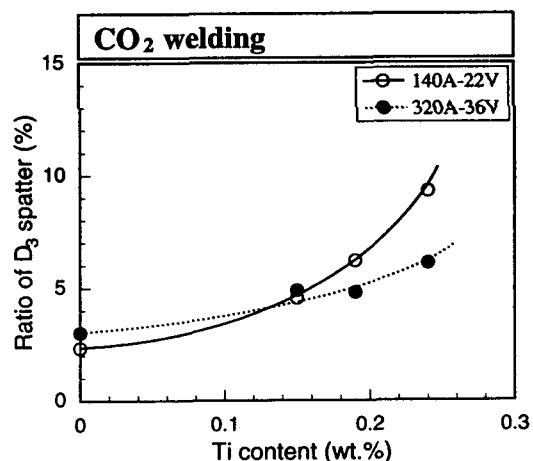


Fig. 6 Effect of Ti content on ratio of D3 spatter

Ti함량에 따라 입도가 큰 D₃스페터의 발생비율을 나타낸 것으로, 용적이행 형태에 관계없이 Ti함량이 증가함에 따라 증가하며, 그 정도는 용적이행 형태에 따라 다소 차이를 보이고 있다. 즉 Ti함량을 0%에서 0.24%로 증가시키에 따른 D₃스페터 발생비율의 변화는 globular이행영역에서는 3%에서 5.7%정도로 증가폭이 적지만, 단락이행 영역에서는 2.3%에서 9%정도로 증가폭이 현저함을 알 수 있다.

이상과 같이 스페터 발생량에 미치는 Ti첨가 효과는, 단락이행 영역의 경우 스페터의 발생량(g)에는 큰 영향을 미치지 않는지만 스페터를 대립화시키는 경향이 현저한 반면, globular이행 영역에서는 스페터를 대립화시키는 경향보다는 스페터의 발생률을 감소시키는 경향이 있음을 알 수 있다.

3.4 아크현상에 미치는 Ti의 영향

이상과 같이 용접용 와이어에 첨가되는 Ti함량은 CO₂용접의 스페터 발생특성 및 용적이행 현상 등에 직접적으로 영향을 미치고 있다. 즉 Ti함량의 증가는 저전류의 단락이행영역에서는 아크시간을 증가시키므로써 용적이행주파수가 감소하는 효과가 있다. 또한 globular이행 영역에서는 globular이행이 출현하는 용접조건을 저전류-저전압 측으로 이동시키며, globular이행 영역을 넓히는 효과가 있다. 특히 단락이행 영역에서 Ti함량에 따른 아크시간의 변화는 스페터 발생특성과 직접적인 상관성이 있으리라 판단된다. Fig. 7은 140A-22V의 용접조건에 있어서 아크시간에 따른 스페터 발생률 및 대립인 D₃스페터의 발생비율 변화를 나타낸 것이다. 아크시간이 길어질수록 스페터 발생비율은 감소하며, 대립의 스페터 발생비율은 증가하는 경향을 보이고 있다. 즉 평균 아크시간이 16.7ms에서 20ms으로 길어짐에 따라 스페터 발생률은 1.48%에서 1.0%로 다소 감소하지만, D₃스페터의 발생비율은 2.2%로부터 9.2%로 현저히 증가함을 알 수 있다. 이와 같이 스페터가 대립화되는 것은 아크시간이 길어짐에 따라 용적이 커지고 이러한 큰 용적이 단락되어 이행되기 때문이라 생각된다.

이상과 같은 Ti의 효과는 용적이행현상을 지배하는 전위경도(potential gradient : K)와 직접적인 상관성이 있는 것으로 생각된다. 즉 Ti은 산소((O))

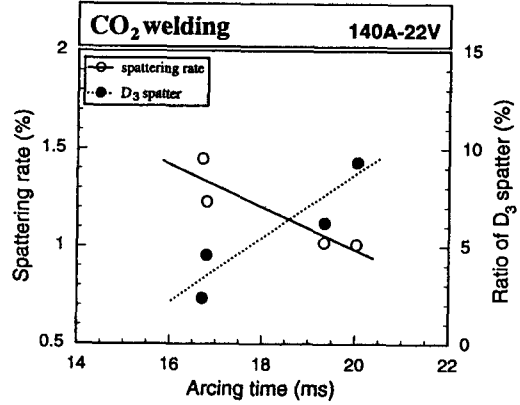


Fig. 7 Effect of arcing time on spatter generation

와 친화력이 강한 원소로서, 고온의 아크내에서 CO₂개스의 해리에 의해 발생한 [O]와 결합하여 많은 Ti산화물을 형성할 것으로 생각된다. 따라서 Ti함량이 증가할수록 용적 및 용융금속에서 산화물이 증가하고, 용적내의 Ti산화물은 양극에 있어서 산화피막의 효과와 유사하리라 생각된다. 즉 양극에 산화피막을 도포하면, 고온의 아크중에서 전자방출을 용이하기 때문에 전위경도가 저하하는 것으로 보고되고 있다^{13,14}. Fig. 8은 이상과 같은

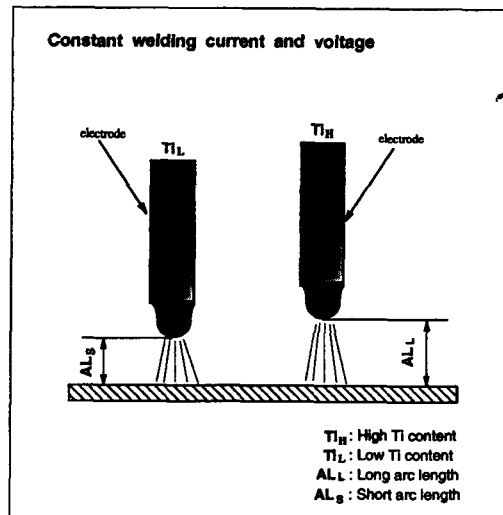


Fig. 8 Schematic diagram for effect of Ti on arc phenomena

Ti의 효과를 모식적으로 나타낸 것이다. 즉 동일 용접전류 및 전압조건에서 Ti함량이 높은 와이어 (T_{H})가 Ti함량이 낮은 와이어 (T_{L})에 비하여 전위경도가 저하할 것이다. 또한 아크전압은 전위경도와 아크길이의 곱으로 정의됨에 따라, Ti함량이 높은 와이어일수록 동일 아크전압에서 아크길이는 길어지게 된다($AL \propto AL_0$). 이와 같이 긴 아크길이가 형성되면 아크시간이 길어지며 그 결과 와이어 선단에 형성되는 용적이 커지게 된다. 따라서 단락이행영역에서 Ti함량이 증가할수록 대립의 스패터 발생비율이 증가하는 것은 용적의 크기가 커지기 때문이며, Ti함량이 증가함에 따라 globular이행이 출현하는 용접조건이 저전류-저전압 측으로 이동하고, 안정한 globular이행이 가능한 용접조건 범위가 넓어지는 것도 전술한 바와 같이 아크길이의 증가가 주된 원인이라 판단된다.

4. 결 론

CO₂용접시 스패터 발생에 미치는 Ti의 영향을 관찰하기 위하여 Ti함량을 변화시켜, 스패터 발생 특성, 아크전압의 변화 및 용적이행 형태 등을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Globular이행 영역에서 Ti함량의 증가는 globular이행이 나타나는 용접조건을 저전류-저전압측으로 이동시키며, 안정한 globular이행을 위한 용접조건 범위를 넓게 한다.
- 2) 단락이행 영역에서 Ti함량의 증가는 아크시간을 길게하여 용적이행주파수를 감소시킨다.
- 3) 단락 및 globular이행영역에서 Ti함량의 증가는 스패터 발생률은 감소시키는 반면, 대립의 스패터 발생비율을 증가시킨다.
- 4) 이상과 같은 Ti의 효과는 용적에 생성되는 많은 Ti산화물에 기인한 것이다. 즉 고온의 아크 중에서 Ti산화물은 전자방출을 용이하게 하여 전위경도를 감소시키고 이로 인하여 용접중 아크길이가 길어지기 때문이라 판단된다.

참 고 문 헌

1. 木村乾男, 橋口清住 : 炭酸가스아크용접에

におけるスパッタについて, 溶接技術, Vol. 32, No. 2 (1984), pp. 76~78

2. 野嶋成樹 : 炭酸가스아크용접용ワイヤの選
び方. 使い方, 溶接技術, Vol. 27, No. 1
(1979), pp. 20~30
3. 奥田直樹 : 溶接材料の種類とその特性, 使い
分け(上), 溶接學會誌, Vol. 56, No. 1
(1987), pp. 44~54
4. S. Rhee : Observation of Metal Transfer
during Gas Metal Arc Welding, Welding
Research Supplement, No. 10 (1992), pp.
381s~386s
5. 藤原紀六, 三田常夫 : 스팅타低減の效果的
方法, 溶接技術, Vol. 33, No. 2 (1985), pp.
51~58
6. 三田常夫 : 스팅타はどこまで防止できる
か?(1), 溶接學會誌, Vol. 59, No. 8 (1990),
pp. 12~16
7. 菅 哲男 : 스팅타はどこまで防止できるか?
(2), 溶接學會誌, Vol. 59, No. 8 (1990), pp.
17~21
8. 山内信幸 : 가스시르트아크용접現象に及ぼ
す微量元素の影響に関する日本の研究の現
象, 溶接學會誌, Vol. 50, No. 11 (1981), pp.
35~41
9. I. Masumoto, A. Sekiguchi, S. Kawasaki :
Effect of Titanium in Steel Electrode Wire
for CO₂ Arc Welding on the Usability and
Mechanical Properties of Weld Metal, IIW
Doc. XII-B-135-73
10. K. S. Bang, Y. H. Ahn, R. W. Chang : Effects
of Welding Condition and De-oxidizing
Elements of Wire on the Spatter Generation
in GMA Welding, International Conference
Proceedings of IIW (1994), pp. 399~400
11. 안 영호, 방 국수, 최 종훈 : CO₂용접의 용적
이행에 미치는 Ti의 영향, 대한용접학회 춘계
학술발표 개요집, (1993), pp. 61~63
12. 안 영 호, 방 국수, 이 중봉, 장 래응 :
GMAW 용적이행 현상에 미치는 Ca의 영향,
대한용접학회지, Vol. 12, No. 4 (1994), pp.
76 ~ 84
13. 安藤弘平, 長谷川 光雄 : 溶接아크現象, 産
報出版, (1967), pp. 71~73
14. 安藤弘平, 長谷川 光雄 : 溶接아크現象, 産
報出版, (1967), pp. 94~95